



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

FRANCISCO HEITOR VASCONCELOS ARAÚJO

PROJETO DE UMA REDE GPON FTTH IMPLANTADA NA CIDADE DE SANTANA
DO ACARAÚ

SOBRAL

2019

FRANCISCO HEITOR VASCONCELOS ARAÚJO

PROJETO DE UMA REDE GPON FTTH IMPLANTADA NA CIDADE DE SANTANA DO
ACARAÚ

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Conselho de Curso de graduação em Engenharia Elétrica do Campus de Sobral da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Me. Yuri Victor Lima de Melo

Coorientador: Eng. Me. Antonio Alan Rodrigues de Araújo

SOBRAL

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

A689p Araújo, Francisco Heitor Vasconcelos.
Projeto de uma rede GPON FTTh implantada na cidade de Santana do Acaraú / Francisco Heitor Vasconcelos Araújo. – 2019.
75 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Sobral, Curso de Engenharia Elétrica, Sobral, 2019.

Orientação: Prof. Me. Yuri Victor Lima de Melo.

Coorientação: Prof. Me. Antonio Alan Rodrigues de Araújo.

1. Redes ópticas passivas. 2. PON. 3. Fibra Óptica. I. Título.

CDD 621.3

FRANCISCO HEITOR VASCONCELOS ARAÚJO

PROJETO DE UMA REDE GPON FTTH IMPLANTADA NA CIDADE DE SANTANA DO
ACARAÚ

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Conselho de Curso de graduação em Engenharia Elétrica do Campus de Sobral da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovada em:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Yuri Victor Lima de Melo (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Eng. Me. Antonio Alan Rodrigues de
Araújo (Coorientador)
Agil Engenharia Telecomunicações

Prof. Dr. Eber de Castro Diniz
Universidade Federal do Ceará - UFC

À toda minha família, por sempre me apoiarem e me incentivarem em todas as minhas decisões. Mãe, obrigado por todo o seu cuidado e carinho, estes foram de grande ajuda. Pai, obrigado por sua presença e apoio, este me repassaram muita segurança. Irmã, obrigado por toda as brincadeiras e palavras de ajuda, estas me passaram muita alegria.

AGRADECIMENTOS

À toda minha família, meu pai José Andrade Filho, minha mãe Graciele Maria de Vasconcelos e minha irmã Ana Karen Vasconcelos Araújo, por toda ajuda e esforço, sempre me incentivando nos meus objetivos. Foi por vocês terem feito o possível e o impossível que cheguei até aqui.

A minha namorada Iara Barbosa de Sousa, que me acompanha desde o começo da faculdade, sempre me apoiando e me ajudando nos momentos difíceis. Com sua ajuda foi que cheguei tão longe.

A todos os meus amigos da minha cidade natal, Santana do Acaraú, por todos os momentos de diversão desde quando eu era criança.

A todos os amigos que fiz nessa jornada da faculdade, tanto da Engenharia Elétrica como da Engenharia da Computação. Agradecimento especial ao mais próximos, Francinildo, Gustavo, Taylan, Saulo, Clévia, Yolanda, por conviverem quase todos os dias comigo e proporcionarem momentos que vou levar comigo pra sempre.

Ao coorientador e amigo, Alan Araújo, por toda a ajuda e orientação no preparo deste trabalho. Juntamente a ele, à toda a equipe de trabalho, Jeann, Carol, Lorena, Adail, Ygor e Douglas, por todos os ensinamentos e momentos de descontração.

Ao professor e orientador Yuri Victor, por ter aceito me orientar nesta última etapa do curso.

“Na corrida dessa vida é preciso entender que você vai rastejar, que vai cair, vai sofrer e a vida vai lhe ensinar que se aprende a caminhar e só depois vai correr.”

(Bráulio Bessa)

RESUMO

O seguinte trabalho de conclusão de curso tem por finalidade abordar e demonstrar os principais aspectos dos sistemas de comunicação via fibra óptica *Gigabit Passive Optical Network* (GPON) adotando-se a topologia *Fiber to the home* (FTTh). Inicia-se a fundamentação discorrendo sobre as tecnologias de comunicação criadas antes da fibra óptica, mostrando suas vantagens e desvantagens. Em seguida, é feita a abordagem da fibra óptica em si, mostrando o comportamento da luz e como esta se propaga na fibra óptica, os tipos de fibra óptica e as possíveis perdas e atenuações que podem ocorrer neste meio. Ao final, são mostrados os principais equipamentos usados numa rede *Passive Optical Network* (PON), seguindo-se depois para o projeto prático de um rede óptica.

Palavras-chave: Redes ópticas passivas (PON). Fibra óptica.

ABSTRACT

The following paper is intended to address and demonstrate the main aspects of optical fiber communication systems GPON by adopting the FTTh topology. The grounding is started by discussing the communication technologies created before the optical fiber, showing its advantages and disadvantages. Next, the optical fiber approach is made, showing the light behavior and how it propagates in the optical fiber, the types of optical fiber and the possible losses and attenuations that can occur in this medium. At the end, the main equipment used in a PON network is shown, followed by the practical design of an optical network.

Keywords: Passive Optical Networks (PON). Optic Fiber.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fotofone de Graham Bell	18
Figura 2 – Evolução do consumo de dados no Brasil	21
Figura 3 – Tráfego de dados semanal no Brasil	21
Figura 4 – Panorama de fibra ótica no Brasil	22
Figura 5 – Evolução do número de acessos	23
Figura 6 – Funcionamento da internet via rádio	25
Figura 7 – Composição do Cabo Coaxial	26
Figura 8 – Desempenho do Cabo Coaxial	27
Figura 9 – Cabo UTP	29
Figura 10 – Desempenho Cabo UTP	30
Figura 11 – Refração e reflexão da luz	31
Figura 12 – Ângulo crítico	32
Figura 13 – Estrutura básica da Fibra Ótica	33
Figura 14 – Perfil da fibra de índice degrau	33
Figura 15 – Distorção fibra de índice degrau	34
Figura 16 – Perfil da fibra de índice gradual	34
Figura 17 – Distorção fibra de índice gradual	34
Figura 18 – Perfil da fibra monomodo	35
Figura 19 – Distorção da fibra monomodo	35
Figura 20 – Desempenho da fibra ótica	36
Figura 21 – Dispersão material	43
Figura 22 – Dispersão modal de polarização	44
Figura 23 – Exemplos de redes FTTx	46
Figura 24 – Terminal de linha óptico (AN5516-04)	47
Figura 25 – Distribuidor Interno Óptico	48
Figura 26 – Splitter 1x8	49
Figura 27 – Perdas decorrentes dos splitters	49
Figura 28 – Estrutura interna de um splitter	50
Figura 29 – Caixa de emenda óptica	50
Figura 30 – Caixa de terminação óptica	51
Figura 31 – Optical Network Unit	52

Figura 32 – Estrutura cabo de fibra óptica	53
Figura 33 – Exemplos de cabos ópticos	53
Figura 34 – Máquina de fusão	55
Figura 35 – Conectores	55
Figura 36 – Conectores tipo PC e APC	56
Figura 37 – Detalhe do polimento nos conectores tipo PC e APC	56
Figura 38 – Power meter	58
Figura 39 – OTDR	59
Figura 40 – Cidade de Santana do Acaraú	61
Figura 41 – Topologia da rede	63
Figura 42 – Ancoragem 1	64
Figura 43 – Ancoragem 2	64
Figura 44 – Ancoragem 3	65
Figura 45 – Coleta postes de Santana do Acaraú	68
Figura 46 – Células FTTh de Santana do Acaraú	69
Figura 47 – CTOs FTTh Santana do Acaraú	70
Figura 48 – CEOs FTTh Santana do Acaraú	71
Figura 49 – Backbone FTTh Santana do Acaraú	72
Figura 50 – Rede de distribuição FTTh Santana do Acaraú	73
Figura 51 – Padrão de cores das fibras ópticas	74
Figura 52 – Organização em um cabo de 72 fibras ópticas	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Perdas causadas por impurezas em ppm	39
Tabela 2 – Diferenças das redes EPON e GPON	45
Tabela 3 – Especificação de Cabos Ópticos Externos	54
Tabela 4 – Quantitativo das relações	67

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CEO	Caixa de emenda óptico
CTO	Caixa de terminação óptico
DIO	Distribuidor Interno Óptico
EPON	<i>Ethernet Passive Optical Network</i>
FTTa	<i>Fiber to the apartment</i>
FTTb	<i>Fiber to the building</i>
FTTh	<i>Fiber to the home</i>
FTTx	<i>Fiber to the 'x'</i>
GPON	<i>Gigabit Passive Optical Network</i>
HC/HP	<i>Home Connected/Home Passed</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
IPTV	<i>Internet Protocol Television</i>
MDF	Multiplexação por divisão de frequência
NBR	Normas Brasileiras Regulamentadoras
OLT	<i>Optical Line Terminal</i>
ONU	<i>Optical Network Unit</i>
PON	<i>Passive Optical Network</i>
POP	<i>Point of Presence</i>
QoS	<i>Quality of Service</i>
SC/APC	<i>Square Connector/Angled Physical Contact</i>
SC/PC	<i>Square Connector/Physical Contact</i>
UTP	<i>Unshielded Twisted Pair</i>
WWW	<i>World Wide Web</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

n_1	Índice de refração do meio 1
n_2	Índice de refração do meio 2
α	Ângulo de incidência do raio incidente
β	Ângulo de refração do raio refratado
θ_c	Ângulo crítico
P_{in}	Potência de entrada
P_{out}	Potência de saída
L	Comprimento da fibra
λ	Comprimento da fibra
α_R	Perdas por espalhamento
T_{max}	Tempo máximo de propagação de um modo
T_{min}	Tempo mínimo de propagação de um modo
ΔT	Atraso modal
Δ	Diferença de índice de refração
$\Delta\tau_{PMD}$	Atraso entre um modo de propagação e outro
V_{gx}	Velocidade de propagação do campo no eixo 'x'
V_{gy}	Velocidade de propagação do campo no eixo 'y'

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	Contexto histórico	18
1.2	Evolução da Internet e demanda de dados	20
1.3	Cenário brasileiro atual	21
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	24
2.1	Tecnologias anteriores à fibra ótica	24
2.1.1	<i>Via Rádio</i>	24
2.1.2	<i>Cabo coaxial</i>	26
2.1.3	<i>Cabo UTP</i>	28
2.2	Fibra ótica	31
2.2.1	<i>Natureza da luz</i>	31
2.2.2	<i>Estrutura básica</i>	32
2.2.3	<i>Fibras multimodo</i>	33
2.2.4	<i>Fibras monomodo</i>	35
2.3	Atenuação	37
2.3.1	<i>Absorção</i>	38
2.3.2	<i>Espalhamento</i>	39
2.3.3	<i>Curvaturas</i>	40
2.3.4	<i>Projeto de Guia de Onda</i>	41
2.4	Dispersão do sinal óptico	42
2.4.1	<i>Dispersão intermodal</i>	42
2.4.2	<i>Dispersão intramodal</i>	42
2.4.3	<i>Dispersão modal de polarização</i>	43
3	METODOLOGIA	45
3.1	Redes ópticas passivas	45
3.1.1	<i>Redes EPON e GPON</i>	45
3.1.2	<i>Conexão dedicada × Conexão compartilhada</i>	46
3.2	Principais componentes das redes FTTh	46
3.2.1	<i>OLT</i>	47
3.2.2	<i>DIO</i>	48

3.2.3	<i>Splitter</i>	48
3.2.4	<i>CEO</i>	50
3.2.5	<i>CTO</i>	50
3.2.6	<i>ONU</i>	51
3.2.7	<i>Cabos Ópticos</i>	52
3.2.8	<i>Conectores</i>	54
3.3	Principais pontos de um projeto óptico	56
3.4	Equipamentos de medida	57
3.4.1	<i>Power Meter</i>	57
3.5	OTDR	58
3.6	Diretrizes de uma rede PON FTTh	59
3.6.1	<i>Necessidades e expectativas dos clientes</i>	59
3.6.2	<i>Informações sobre a região</i>	60
3.6.3	<i>Informações sobre projeto</i>	61
3.6.4	<i>Escolha da topologia</i>	61
3.6.4.1	<i>Taxa de penetração e previsão de crescimento</i>	62
3.6.4.2	<i>Serviços disponibilizados e necessidade de banda</i>	62
3.6.4.3	<i>Razão de divisão da rede e orçamento de potência</i>	62
3.6.4.4	<i>Custo de material, equipamentos e serviços</i>	64
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	66
4.1	Projeto da rede óptica FTTh	66
4.1.1	<i>Tamanho das Células</i>	66
4.1.2	<i>Numero de CTOs</i>	66
4.1.3	<i>Número de CEOs</i>	67
4.2	Quantitativos	67
4.3	Procedimento do projeto FTTh	67
4.3.1	<i>Rota desejada</i>	67
4.3.2	<i>Coleta dos postes</i>	67
4.4	Células de atendimento	68
4.4.1	<i>Localização das CTOs</i>	69
4.4.2	<i>Localização das CEOs</i>	70
4.4.3	<i>Percurso do Backbone</i>	71

4.4.4	<i>Rede de distribuição</i>	72
4.4.5	<i>Rede de atendimento</i>	73
4.5	Plano de fusão	73
5	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	75
	REFERÊNCIAS	76
	APÊNDICES	77
	APÊNDICE A – Plano de fusão da rede FTTh	77
	APÊNDICE B – Lista de materiais de cada projeto	101
	ANEXOS	103
	ANEXO A – Datasheet do painel solar	103
	ANEXO B – Datasheet do inversor	106

1 INTRODUÇÃO

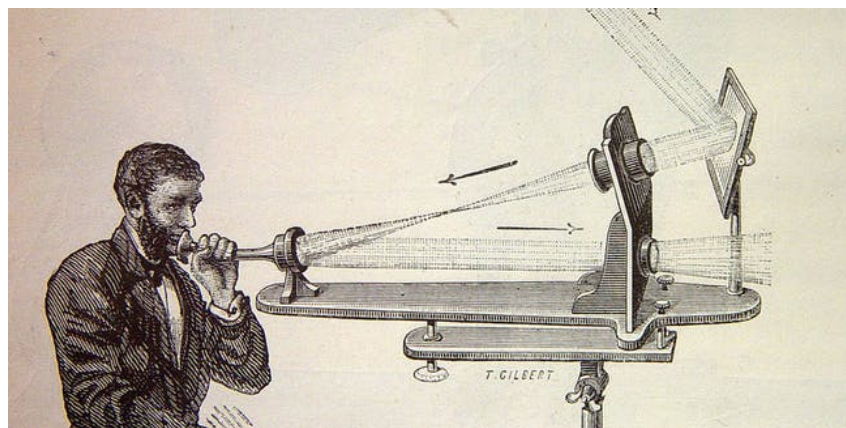
1.1 Contexto histórico

Desde os primórdios da humanidade há a necessidade por desenvolver uma comunicação interpessoal. Pode-se dizer que uma das primeiras formas de comunicação existente foi fazendo sinais com as mãos. Porém, a longas distâncias, essa sinalização com as mãos era impossível, tornando-se necessária uma melhoria das técnicas usadas. Apesar de terem existido diversas outras formas de se comunicar, a comunicação óptica foi a que despertou um maior interesse.

A maioria das civilizações usaram diferentes maneiras e tipos de comunicação óptica, como por exemplo, espelhos, tochas e sinais de fumaça. No caso dos sinais de fumaça, os mesmos podiam ser usados de diferentes formas, seja pra indicar algum acontecimento ou para transmitir alguma mensagem. Estes se assemelham muito as comunicações digitais que existem atualmente, já que para existir uma transmissão da mensagem entre o transmissor e o receptor, os dois tinham que conhecer a codificação da mensagem, da mesma forma que acontece atualmente nos sistemas modernos.

Durante alguns anos, não houve um avanço significativo quanto as comunicações óticas devido as limitações tecnológicas do período. Uma invenção não tão revolucionária mas que vale destacar é o sistema criado por Graham Bell em 1880, o *fotofone*. Nesse sistema, a luz é refletida por um espelho fino, cuja posição é modulada com a voz. A luz modulada incide sobre uma célula de Selênio, que converte a luz em corrente elétrica. Um receptor telefônico completa o sistema. (AMAZONAS, 2005)

Figura 1 – Fotofone de Graham Bell



Fonte: Inverse

Na década de 80, mais especificamente no ano de 1837, foi iniciada a época das comunicações elétricas, com a invenção do telégrafo, por Samuel F.B. Morse. Com o uso deste aparelho, as comunicações agora podiam alcançar distância de até 100 km. Com o aprimoramento do telégrafo alguns anos depois, a velocidade de transmissão de informações chegava a 120 bits/s. No ano de 1876, o telefone foi inventado, e com isso, houve uma grande mudança na forma de transmissão de sinais. Com esse advento, os sinais agora podiam ser transmitidos de forma analógica.

Nos anos que se seguiram, houve uma grande necessidade de desenvolvimento de sistemas mais sofisticados e confiáveis, com uma maior capacidade para se transmitir dados. Passou-se a usar cabos coaxiais ao invés de cabos de par trançado, o que proporcionou um grande aumento na capacidade dos sistemas. Para se ter uma noção, no ano de 1940, quando o primeiro cabo coaxial foi posto em serviço, o sistema possuía uma frequência de 3 MHz, sendo capaz de transmitir 300 canais de voz ou 1 canal de televisão. (AGRAWAL, 2014)

Cada vez mais, uma faixa maior do espectro eletromagnético era necessária para que as comunicações se desenvolvessem. Durante este tempo, várias novas tecnologias surgiram, como exemplos: a radiofrequência, comunicação via satélite e micro-ondas, sendo este último, capaz de operar em frequências de até 10 GHz. Apesar de toda essa evolução, chegou em um ponto em que a velocidade de transmissão dos sistemas estagnou numa taxa máxima de aproximadamente 100 Mb/s. Devido a esse problema, os estudiosos tiveram que procurar uma outra maneira de realizar essa troca de dados.

No ano de 1960 as portas se abriram para as comunicações ópticas com a invenção do laser. No início, tentou-se utilizar sistemas não-guiados, onde a comunicação era feita por feixes luminosos viajando pela atmosfera. Apesar de simples, esse tipo de comunicação possuía diversas desvantagens, desde a necessidade da linha de visada sem nenhum obstáculo até o risco de provocar danos as pessoas que por ventura acabassem olhando diretamente para o feixe luminoso.

Apesar de existir a tecnologia do laser, ainda faltava um meio guiado por onde o mesmo pudesse se propagar de forma satisfatória. As fibras ópticas nessa época ainda eram muito ineficientes, chegando a perdas de 10^4 dB/km. Porém, em 1970, a Corning Glass apresentou uma fibra óptica com perdas muito baixas para a época, cerca de 17 dB/km, fazendo com que os sistemas ópticos se tornassem uma realidade. (AMAZONAS, 2005)

1.2 Evolução da Internet e demanda de dados

A internet, ao longo dos anos, vem se desenvolvendo cada vez mais. Praticamente todos os anos aparecem novas atividades que podem ser feitas por meio dela, seja pesquisar sobre algo, fazer um *download* de uma música ou fazer uma compra online. Porém, nem sempre foi assim, no começo de sua existência, a internet era bem limitada.

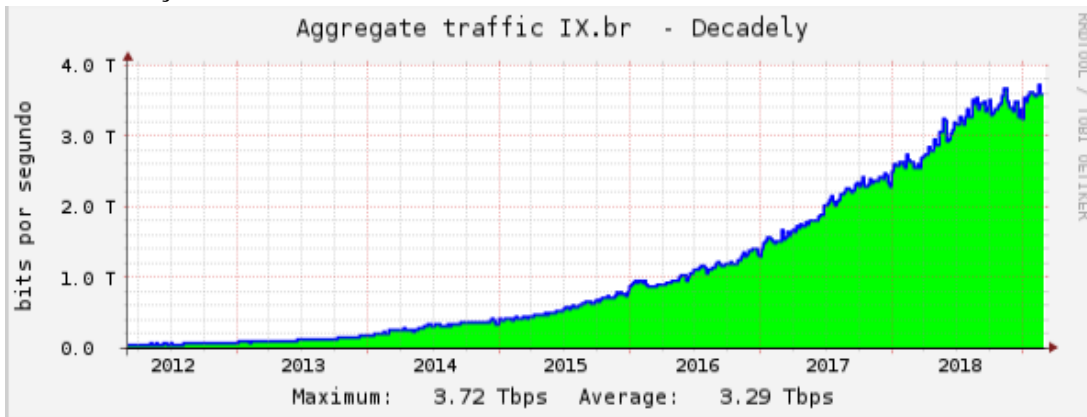
A criação da rede, que conhecemos hoje como internet, aconteceu por volta dos anos 60. Sua criação se deu por meio das agências de defesa dos EUA, que tiveram a ideia de criar uma rede super confiável, voltado para os militares e os acadêmicos, que continuasse funcionando mesmo em época de guerra. A intenção era que cada equipamento conectado pudesse operar de maneira "autônoma". Caso alguma parte da rede fosse afetada, todo o resto podia continuar em operação. A partir daí, criou-se a ARPANET.(FELIPE, 2013)

Naquela época, as primeiras redes de computadores tinham o único objetivo de interligar diversos institutos através de cabos. Poucas atividades eram realizadas, resumindo-se a troca de mensagens e transferência de arquivos. Alguns anos depois, o público em geral já começava a ter acesso a essa rede, utilizando-se da internet discada, que era acessada por meio da linha telefônica, como o próprio nome sugere. A velocidade de conexão ainda era bastante lenta, o que fazia com que a grande maioria das informações contidas na internet fossem somente páginas de texto.

A criação do *World Wide Web* (WWW) possibilitou o acesso de conteúdos multimídia na internet. Dessa forma o usuário final começava a ter acesso a imagens, vídeos e músicas. Serviços como videoconferência, *peer-to-peer*, *downloads* de vídeo, música, entre outros, causaram uma grande expansão no uso de internet nos anos 2000. Mais recentemente, com a popularização dos *smartphones* associado com o nascimento das redes sociais, aplicativos de troca de mensagens instantâneas, *streaming* de vídeos, jogos, *Internet Protocol Television* (IPTV), *Internet of Things* (IoT), causaram mais uma grande mudança na forma de utilizar a internet.

Essa grande expansão da demanda vem exigindo meios de comunicação cada vez mais rápidos e eficientes. A Figura 2 mostra a evolução do consumo de dados no Brasil entre 2012-2019. Note que o crescimento de consumo de dados forma uma curva que lembra uma função exponencial.

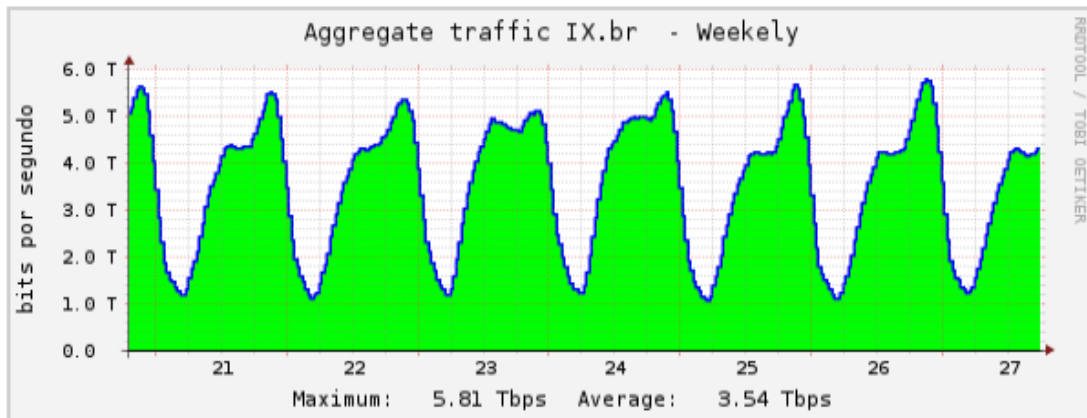
Figura 2 – Evolução do consumo de dados no Brasil



Fonte: IX.br

Segundo o site IX.br, que gerencia o tráfego de dados na internet, o consumo de dados no Brasil está próximo de alcançar 6 Tbps, como mostra a Figura 3.

Figura 3 – Tráfego de dados semanal no Brasil



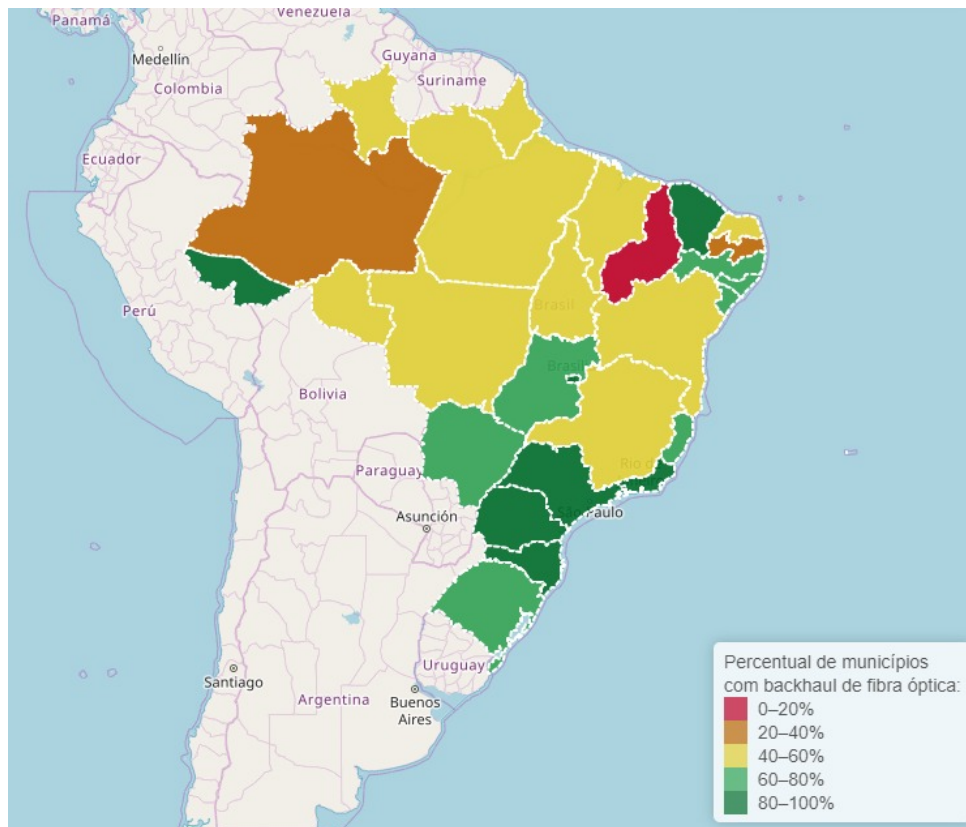
Fonte: IX.br

A fibra ótica vem surgindo como um meio eficiente, eficaz, constituído de matéria prima abundante e barata, o que a torna um meio de comunicação com um excelente custo benefício, além de suportar toda essa demanda.

1.3 Cenário brasileiro atual

No Brasil, atualmente, já existem redes de fibra ótica em todos os estados, principalmente na região Sudeste. A Figura 4 mostra um panorama das redes existentes no ano de 2018.

Figura 4 – Panorama de fibra ótica no Brasil

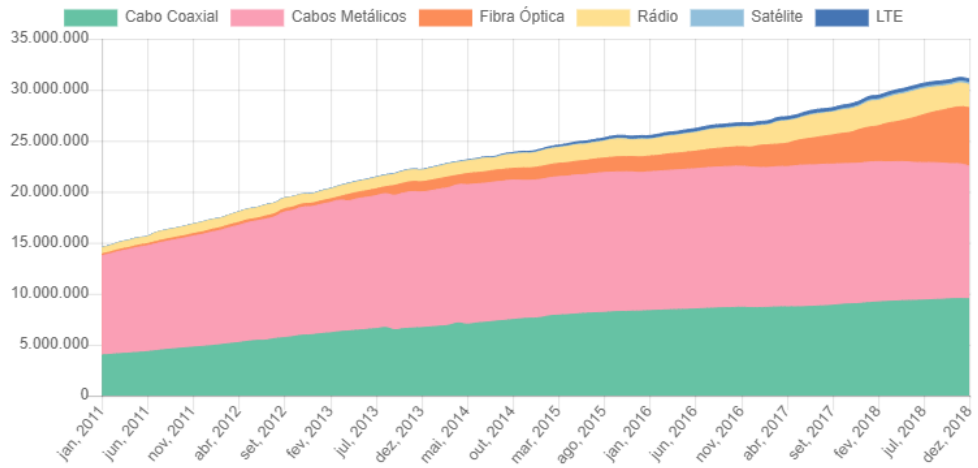


Fonte: ANATEL

Nota-se que a região Norte é a mais atrasada em relação a tecnologia da fibra ótica. Isso se deve principalmente a grande densidade florestal daquela região. Apesar desta ser a região mais atrasada, o estado com a menor penetração dessa tecnologia trata-se do Piauí.

O número de acessos vem crescendo ao longo dos anos, como pode ser visto na Figura 5. No início do ano de 2011, o número de acessos era cerca de 15 milhões. Já no final de 2018, esse número mais que dobrou, chegando a 31 milhões de acessos. O crescimento da fibra ótica, nesse mesmo período de tempo, foi gigantesco, passando de 173 mil usuários para quase 6 milhões.

Figura 5 – Evolução do número de acessos



Fonte: ANATEL

Mediante todos esses dados, o presente trabalho tem como finalidade mostrar que a fibra óptica é uma tecnologia muito viável e adequada para se usar em redes de comunicação.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os sistemas de comunicação são responsáveis por partilhar informações, seja de forma local ou remota. A telecomunicação é o termo utilizado para as comunicações feitas a distância. Os principais componentes dos sistemas de comunicação são cinco: **Mensagens, Emissor, Receptor, Meio e Protocolo.**

A troca de dados entre os dispositivos desse sistema são feitas através de algum meio de transmissão, seja cabeado ou não. No estudo que se segue, será abordado e fundamentado os **meios** usados nas telecomunicações, mais precisamente, o uso da fibra ótica.

2.1 Tecnologias anteriores à fibra ótica

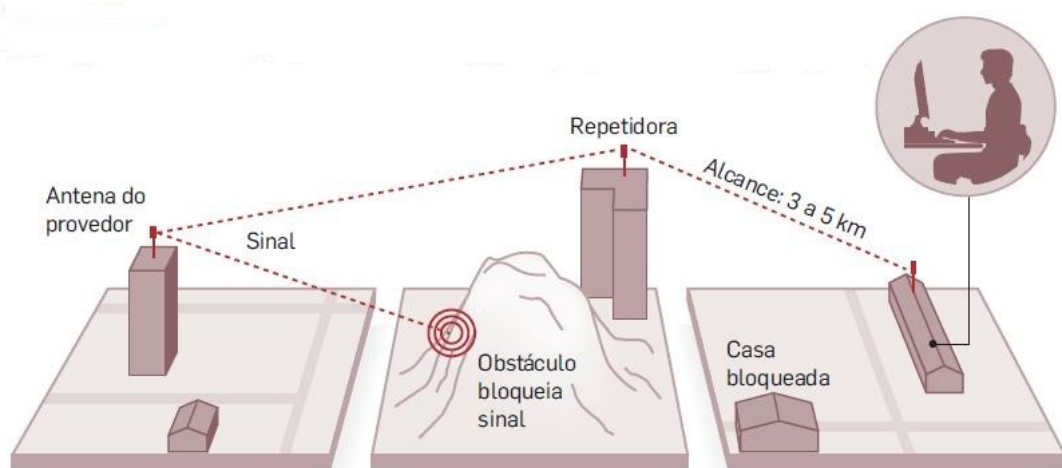
Para se entender melhor o porque do uso da fibra ótica ao invés de outras tecnologias, deve-se entender um pouco de cada uma dessas tecnologias e por que a mesmas acabaram entrando em desuso.

2.1.1 Via Rádio

A internet via rádio ainda é usada por boa parte da população, principalmente pelas pessoas que vivem em zonas rurais ou cidades pequenas. O funcionamento da conexão via rádio é, razoavelmente, de fácil entendimento. O sinal de internet é transmitido por diversas torres localizadas em pontos de grande altitude. Esse sinais são transmitidos pelo ar por meio de ondas eletromagnéticas e são captados pelas antenas (receptores).

Um ponto importante quanto a esse tipo de conexão, é que o provedor deve possuir várias torres, distribuídas nas cidades e localidades em que o mesmo irá prestar seu serviço. Cada uma dessas torres, que são popularmente conhecidas como *Point of Presence* (POP) ,terá a função de transmitir a internet para aquela região. A forma em que estas serão distribuídas deve ser muito bem planejada, pois caso contrário, a conexão sofrerá interferências e oscilações, podendo chegar até mesmo numa perda total de sinal.

Figura 6 – Funcionamento da internet via rádio



Fonte: Cultura Mix

Essa antena receberá o sinal emitido pela torre e, através de um cabo, o transportará ao modem. Algumas vezes esse aparelho fica próximo à antena ou junto ao computador. Esse aparelho realiza as funções e é conectado à placa de rede do computador, que permite a conexão com a internet.

A antena que é instalada no local de atendimento, seja uma casa ou um prédio, deve sempre ser colocada no topo desses edifícios, de maneira a alinhar-se com a torre, para que existam poucos ou nenhum obstáculo entre elas. Isso permite que a qualidade do sinal recebido seja a melhor possível. Para finalizar a conexão, a antena é conectada com um modem, que transforma o sinal recebido e o transmite para o computador.

A seguir, são listadas algumas vantagens e desvantagens desse tipo de conexão:

Vantagens

- **Custo-benefício:** o custo benefício da internet via rádio ainda é bom em certas regiões em que outras formas de conexão não são disponíveis. Os planos são oferecidos com velocidades razoáveis a valores acessíveis para as pessoas com poucos recursos financeiros
- **Cobertura:** uma das principais dessa conexão é a cobertura. Através do uso das antenas, grande áreas podem ser abrangidas, tornando possível levar internet para lugares mais afastados, como áreas rurais, por exemplo.
- **Fácil instalação e manutenção:** por se propagar por ondas de rádio, não existe a necessidade de fazer a instalação de uma linha telefônica. A manutenção também é fácil, já que como não usa fios, alguns problemas são evitados, como o furto de cabos ou quando caminhões transitam e acabam quebrando os fios aéreos.

Desvantagens

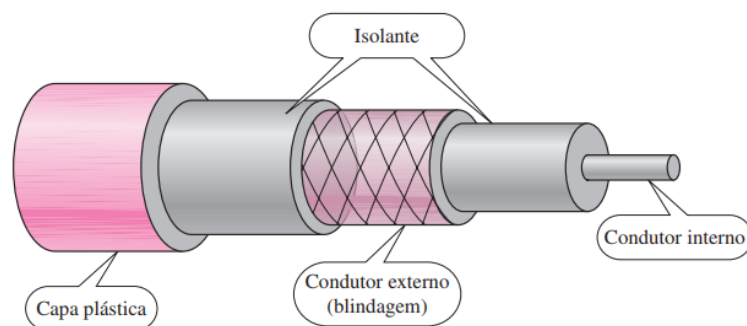
- **Baixa velocidade de transmissão:** a velocidade de transmissão para conexões via rádio é baixa comparada com as de banda larga, chegando a oferecer planos de no máximo 10 Mb.
- **Sobrecarga da rede e alta latência:** Como cada torre tem que lidar com toda uma região, é comum que, em horários de pico, centenas de usuários estejam conectados. Isso faz com que a qualidade da internet caia muito, pois as torres ficam sobrecarregadas com a grande quantidade de pessoas utilizando a internet ao mesmo tempo. Isso também acarreta em uma alta latência, fazendo com que certas atividades que precisam de respostas rápidas, como jogos online e *streaming*, se tornem inviáveis.
- **Interferência:** A conexão via rádio sofre bastante com as interferências do meio, já que as ondas se propagam pelo ar. Quando acontece alguma chuva, por exemplo, a velocidade da internet é reduzida drasticamente, podendo até mesmo acontecer a perda total do sinal.

2.1.2 Cabo coaxial

Um outro tipo de conexão que era bastante utilizado alguns anos atrás é o Cabo Coaxial. Esse cabo é o mesmo utilizado para fornecer os canais de TV por assinatura, o que acaba gerando uma economia, por se tratar de um único cabo. Pode parecer um pouco estranho usar um mesmo canal para ambas as coisas, mas, na verdade, o processo é bem simples.

O cabo coaxial é composto por algumas camadas. No seu núcleo, existe um condutor central, que pode ser de fio torcido ou sólido. Ao redor deste, existe um revestimento isolante, que por sua vez, também é revestido por uma folha de metal, que serve para proteger o cabo contra perturbações. Completando o cabo, existe uma cobertura plástica, para proteger todas as partes internas.

Figura 7 – Composição do Cabo Coaxial



Fonte: Forouzan

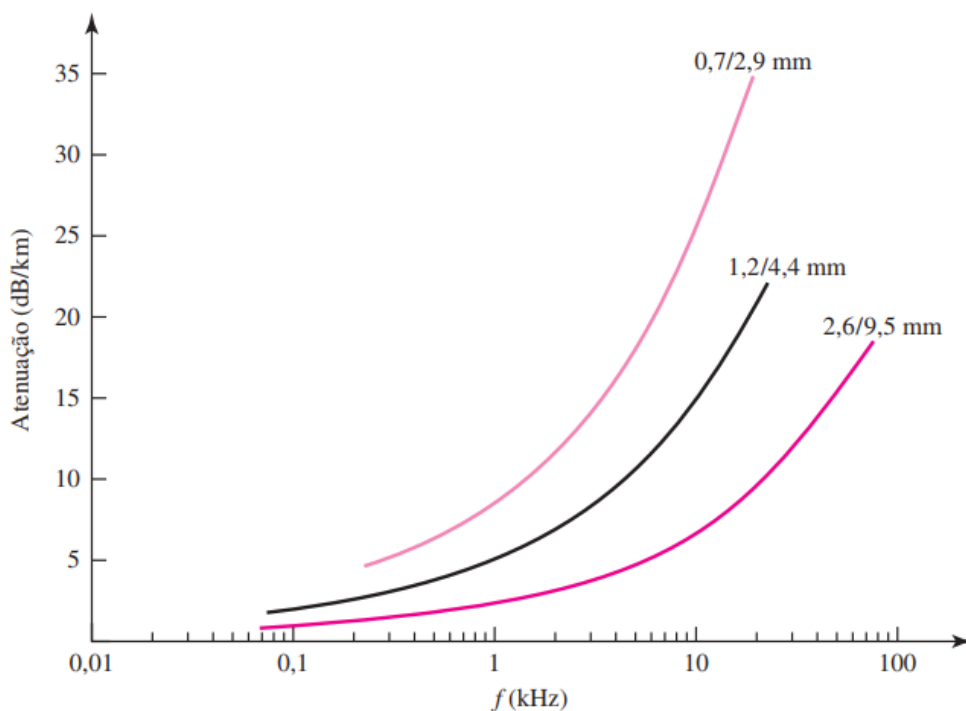
Nas centrais de distribuição do provedor, onde estão as antenas e demais aparelhos, o sinal é preparado para ser distribuído, tanto os canais de TV como o sinal de internet. Para que esses diversos canais de TV possam ser enviados juntamente com as informações de *downlink* e *uplink* da internet, um sistema é responsável por dividir todos esses dados em frequência diferentes. Essa divisão é chamada de Multiplexação por divisão de frequência (MDF). As frequências em que os canais de dados trafegam geralmente possuem uma largura de 6 MHz.

Depois que essa divisão é feita, o sinal multiplexado é enviado por fibras óticas até chegarem em pontos estratégicos denominados "*nós ópticos*". Nesse nós, o sinal são modulados e enfim, transmitidos por cabos coaxiais para os diversos usuários espalhados pela cidade. Cada nó é capaz de atender até cerca de 2000 clientes.

Chegando na residência, o "modem a cabo" é o aparelho que irá dividir (demultiplexar) o sinal, separando os canais da TV do sinal de internet. A partir deste modem, o sinal pode ser conectado diretamente a um computador ou a um roteador, e assim, prover sinal Wi-Fi para toda a residência.

O desempenho deste tipo de cabo não é tão satisfatório. Vê-se, pela imagem abaixo, que apesar da grande largura de banda, o sinal enfraquece muito rapidamente, fazendo-se necessário o uso de repetidores e regeneradores.

Figura 8 – Desempenho do Cabo Coaxial



Fonte: Forouzan

Algumas vantagens e desvantagens da conexão via cabo coaxial são listadas abaixo:

Vantagens

- Possui uma boa velocidade de *upload* e altas taxas de *download*;
- É uma ótima opção se o cliente estiver precisando tanto de TV como de internet, pois existem diversos combos que oferecem descontos se for contratado o pacote completo.

Desvantagens

- Como a velocidade da rede nesse tipo de conexão depende da largura de banda, quanto mais pessoas conectadas a um mesmo "nó", a velocidade é bastante reduzida. Isso é comum de acontecer nos horários de pico.

2.1.3 Cabo UTP

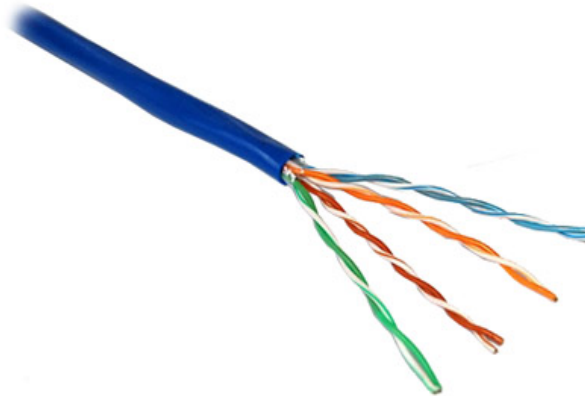
Um dos meios de transmissão mais antigos porém ainda muito utilizado é o cabo *Unshielded Twisted Pair* (UTP), também conhecido como cabo de par trançado. Este tipo de cabo recebe este nome pois é composto por fios entrelaçados de forma helicoidal, assemelhando-se a estrutura de uma molécula de DNA.

Um dos fios do par é responsável por transportar os pulsos elétricos do transmissor para o receptor, enquanto o outro funciona como uma referência para o sinal. No receptor, a diferença de potencial vai entre os fios vai ser lida e a amplitude do sinal elétrico é determinada.

Fontes que emitem ruídos ou sinais indesejados podem causar interferência no sinal enviado. Como nesse cabo, os fios formam um par trançado, o efeito desse ruído será diferente se a disposição dos mesmos fosse paralela. Se os fios fossem lado a lado, um deles ficaria mais próximo da fonte de ruído, sofrendo uma maior interferência. Como nesse cabo, a configuração dos fios é uma trança helicoidal, o equilíbrio é mantido. Isso pode ser entendido facilmente: se em uma trança um dos fios esteja mais próximo da fonte, na trança seguinte o outro fio que ficará mais perto. Logo, a interferência sofrida acabará sendo a mesma, fazendo com que o receptor não perceba nenhum sinal indesejado. Pode-se então perceber que a quantidade de trançados tem grande importância na qualidade do sinal transportado pelo cabo.

Esse tipo de cabo é leve e flexível, podendo atingir velocidade de até 100 Mbps. Essa velocidade depende da espessura do fio e da distância que o sinal irá percorrer.

Figura 9 – Cabo UTP



Fonte: Atera Informática

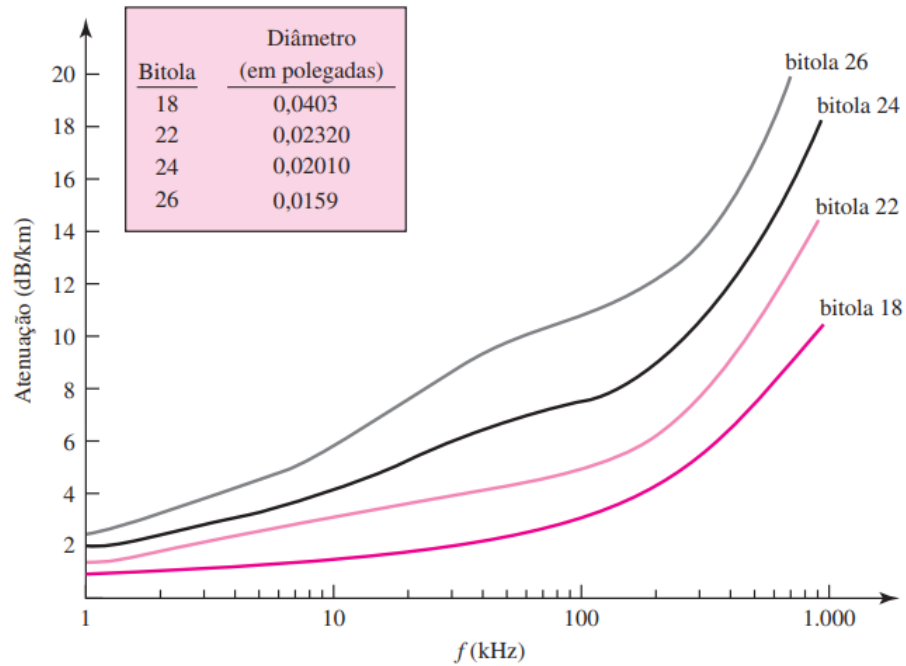
Esses cabos podem ser de vários tipos e atender diversas finalidades. Para diferenciá-los, os mesmos foram divididos em 8 categorias, separando-os por suas características físicas e lógicas, cada qual com seu próprio padrão e velocidade de transferência. (FOROUZAN, 2008) Estas categorias são as seguintes :

- **Categoria 1:** Usado normalmente em telefonia. Possui taxa de transmissão de dados menores que 0,1 Mbps.
- **Categoria 2:** Usado originalmente em linhas T. Possui taxa de transmissão de dados de até 2 Mbps.
- **Categoria 3:** É um aperfeiçoamento da CAT 2 (Categoria 2) voltado para uso em LAN's. Possui taxa de transmissão de dados de até 10 Mbps.
- **Categoria 4:** É um aperfeiçoamento da CAT 3 (Categoria 3) voltado para redes Token Ring. Possui taxa de transmissão de dados de até 20 Mbps.
- **Categoria 5:** Os fios são geralmente AWG 24, com invólucro e revestimento externo. Possui taxa de transmissão de dados de até 100 Mbps. Usado em LAN's.
- **Categoria 5E:** Melhora da CAT 5, incluindo recursos para reduzir as interferências. Possui taxa de transmissão de dados de até 125 Mbps. Usado em LAN's.
- **Categoria 6:** Esta é uma categoria relativamente nova, possuindo componentes casados provenientes do mesmo fabricante. Pode possuir taxa de transmissão de dados de até 200 Mbps. Usado em LAN's.
- **Categoria 7:** Também denominado SSTP (Shielded Screen Twisted-Pair). Cada par é envolto por uma folha metálica e depois por uma blindagem metálica, além da cobertura externa. Essa blindagem serve para diminuir o efeito de linha cruzada e aumentar a taxa

de dados. Pode possuir taxa de transmissão de dados de até 600 Mbps. Usado em LAN's.

Apesar desse tipo de cabo conseguir transmitir dados em uma grande faixa de frequências, a atenuação do sinal aumenta muito rapidamente para frequências acima de 100 kHz, como é mostrado abaixo.

Figura 10 – Desempenho Cabo UTP



Fonte: Forouzan

Vantagens

- As maiores vantagens dos cabos UTP são seu baixo custo e alta capacidade de transmissão de dados.
- São finos, facilitando na hora da instalação.

Desvantagens

- Cabo muito sensível a interferências de radiofrequência, sofrendo bastante com ruídos e interferências. Isso pode ser contornado com uma blindagem, porém, aumenta também o custo.
- A distância máxima entre os pontos interligados não deve superar 100m, se não, ocorrerá atenuação do sinal. Isso faz com que, dependendo da distância, fique inviável o uso de cabo UTP.

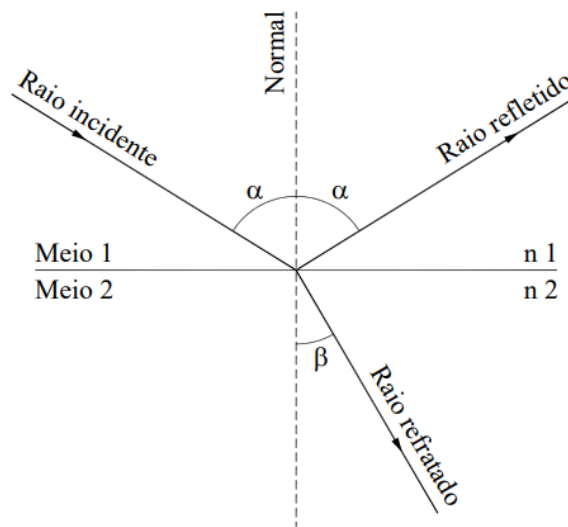
2.2 Fibra ótica

Depois de conhecer um pouco sobre cada uma das outras tecnologias usadas para a transmissão de dados, vamos fundamentar agora os aspectos da fibra ótica.

2.2.1 Natureza da luz

Antes de falar sobre a fibra ótica em si, precisa-se conhecer como a luz se comporta nos mais diversos meios. A luz trafega em linha reta enquanto está no mesmo meio de propagação. Se esta acabar encontrando outro meio, com um densidade diferente do anterior, a mesma sofre uma mudança de direção. Parte da energia desta luz é refletida de volta para o meio e a outra parte é refratada para o novo meio. A Figura 11 demonstra esses fenômenos, usando como meios de propagação o ar e a água.

Figura 11 – Refração e reflexão da luz



Fonte: IFSC

Quando o feixe luminoso passa de um meio com um índice de refração maior para um com índice de refração menor, o raio refratado afasta-se cada vez mais da reta normal. Com isso, a partir de certo ângulo incidente, não haverá mais raio refratado. Quando isso ocorre, o ângulo de incidência é denominado **ângulo crítico**. Este ângulo pode ser facilmente calculado através da Lei de Snell:

$$n_1 \text{sen}(\alpha) = n_2 \text{sen}(\beta) \quad (2.1)$$

Na Equação acima, n_1 e n_2 são os índices de refração do primeiro e segundo meio respectiva-

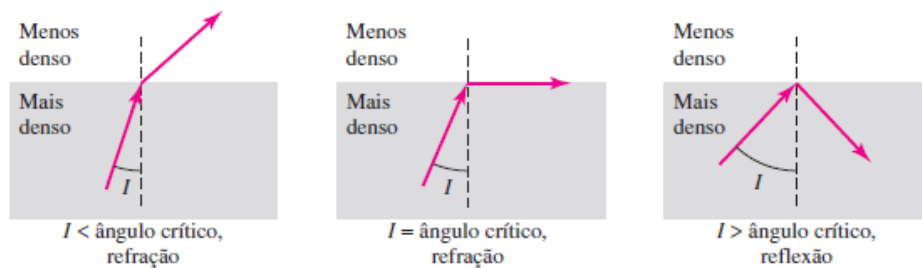
mente, α e β são os ângulos de incidência e de refração, respectivamente. Para encontrar o ângulo crítico, basta manipular a Equação 2.1, obtendo:

$$\frac{\text{sen}(\alpha)}{\text{sen}(\beta)} = \frac{n_2}{n_1} = \text{sen}(\theta_c) \quad (2.2)$$

onde θ_c é o ângulo crítico.

Conforme a Figura 12 abaixo, quando o ângulo do raio incidente for menor que o ângulo crítico, o raio de luz refratado se aproxima da interface entre os meios. Se o ângulo do raio incidente for igual ao do ângulo crítico, o raio é refratado paralelamente a interface entre os meios. Caso o ângulo incidente seja maior que o crítico, então não existirá refração, somente a reflexão.

Figura 12 – Ângulo crítico



Fonte: Forouzan

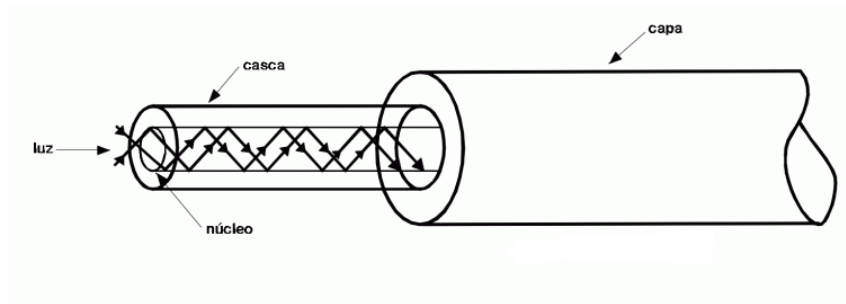
Em relação a essa reflexão sofrida pelo feixe luminoso, ela pode ser de dois tipos. Quando a luz é refletida por uma material com índice de refração maior do que o anterior, esta é chamada de **reflexão externa**. Da mesma forma, se o raio luminoso for refletido por um material com índice de refração menor que o anterior, denomina-se **reflexão interna**

A fibra ótica tem seu funcionamento baseado na reflexão interna, mais precisamente, a reflexão interna total, que ocorre quando o ângulo de incidência é maior que o ângulo crítico encontrado pela equação 2.2

2.2.2 Estrutura básica

As fibras óticas são compostas, basicamente, por um material dielétrico, formando uma estrutura cilíndrica, com dimensões parecidas com a de um fio de cabelo. Na região central do cilindro, existe o *núcleo* da fibra, que é envolto pela *casca* feita de material dielétrico. Essa estrutura básica pode ser visto na Figura 13

Figura 13 – Estrutura básica da Fibra Ótica



Fonte: Transcortec

Como se pode ver na Figura acima, a luz se propaga no interior do núcleo da fibra. Esse raio luminoso pode se propagar de diferentes maneiras no interior do núcleo, em caminhos ou trajetórias. Esses caminhos são chamados de *modos* de propagação, e são dependentes das características físicas da fibra ótica.

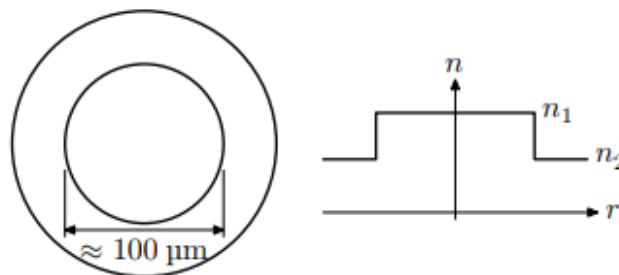
Quando as fibras estão sendo fabricadas, basta uma variação na composição do material do núcleo que a mesma passa a ser de um *modo* diferente. Apesar de existir uma grande variedade de caminhos em que o raio de luz pode percorrer, os modos de propagação suportados pelas tecnologias existentes hoje são basicamente dois: **multimodo** e **monomodo**.

2.2.3 Fibras multimodo

As fibras do tipo multimodo são denominadas assim devido aos diferentes caminhos que os raios de luz podem seguir no interior do núcleo. Esse tipo de fibra possui núcleos com dimensões entre 50 e 200 μm . Essa classificação ainda possui duas subdivisões, podendo ser classificada em fibra de **índice degrau** ou **índice gradual**.

Na fibra do tipo multimodo de índice degrau, há uma mudança brusca de índice de refração na interface núcleo-casca, como pode ser visto na Figura 14.

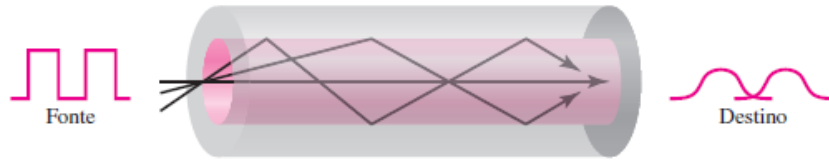
Figura 14 – Perfil da fibra de índice degrau



Fonte: UNICAMP

Devido a essa mudança, o sinal acaba ficando distorcido a medida que se propaga por toda a extensão da fibra. A Figura 15 demonstra essa distorção que o sinal sofre, fazendo com que o sinal recebido seja diferente do enviado.

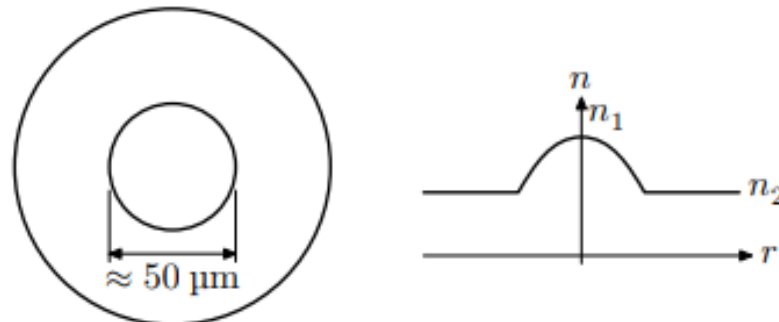
Figura 15 – Distorção fibra de índice degrau



Fonte: Forouzan

Já a fibra do tipo multimodo de índice gradual, a mudança de índice de refração na interface núcleo-casca acontece de maneira gradual, como o próprio nome diz. A medida que o raio de luz se distância do centro do núcleo, o índice de refração vai diminuindo gradativamente. Esse perfil é mostrado na Figura 16

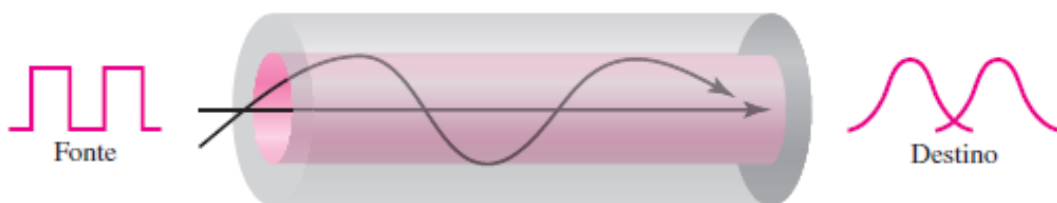
Figura 16 – Perfil da fibra de índice gradual



Fonte: UNICAMP

Em comparação com a de índice degrau, a fibra de índice gradual tem uma distorção menor, devido ao fato do índice de refração variar gradativamente. A Figura 17 mostra a distorção sofrida pelo sinal nesse perfil de fibra ótica.

Figura 17 – Distorção fibra de índice gradual



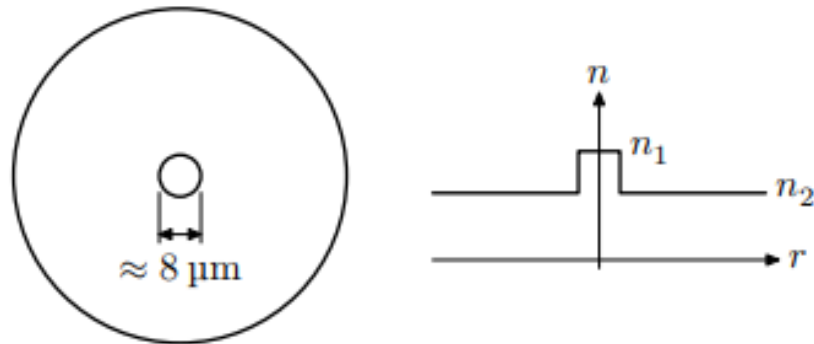
Fonte: Forouzan

As fibras do tipo multimodo são inviáveis para transmissões a longas distâncias, devido a perdas por distorção, como foi mostrado anteriormente. Logo, elas são usadas geralmente para transmissões a curta distância, como redes LAN.

2.2.4 Fibras monomodo

As fibras do tipo monomodo recebem esse nome pois os feixes de luz no seu interior se propagam quase que horizontalmente devido a um índice de refração pequeno, o que faz com que o ângulo crítico seja próximo de 90° . O núcleo desse perfil de fibra é muito menor que os da multimodo, com dimensões entre 8 e $12 \mu\text{m}$. A Figura 18 mostra essas características.

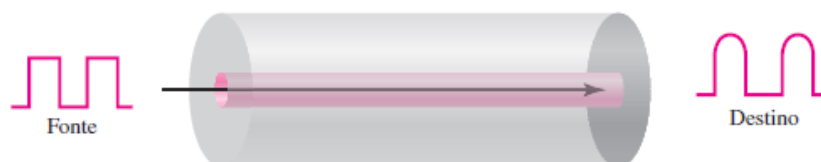
Figura 18 – Perfil da fibra monomodo



Fonte: UNICAMP

Devido a este tamanho reduzido do núcleo, a luz só tem um caminho a seguir, ou seja, somente um modo de propagação. Assim, o sinal sofre bem menos distorção se comparada com a fibra multimodo, como é mostrado na Figura 19

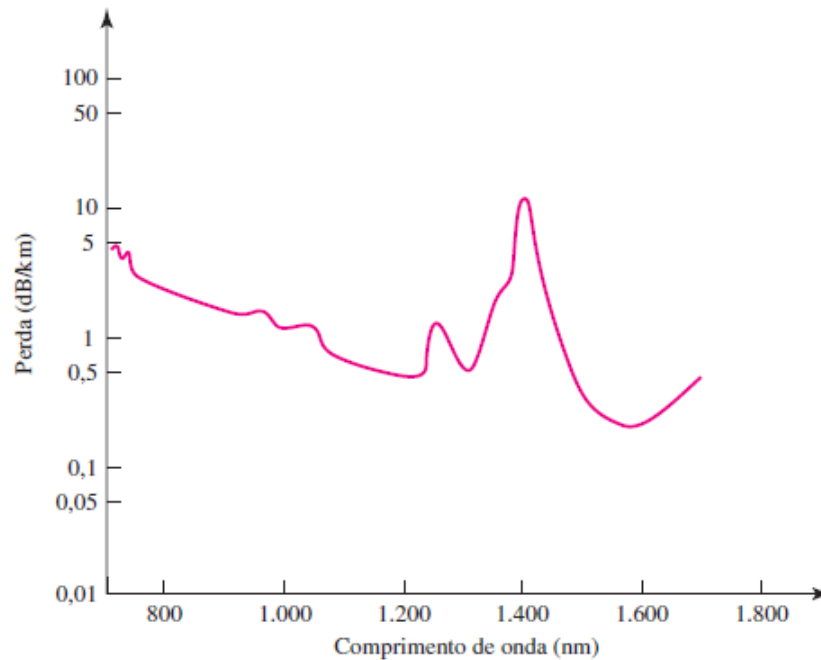
Figura 19 – Distorção da fibra monomodo



Fonte: Forouzan

O desempenho da fibra óptica é mostrado na Figura 20. Pode-se notar que em certos comprimentos de onda, a perda é bem acentuada. A atenuação é mais plana que nos cabos coaxiais e par trançado. O desempenho é tal que precisamos de menos (na realidade, dez vezes menos) repetidores quando usamos cabos de fibra óptica. (FOROUZAN, 2008)

Figura 20 – Desempenho da fibra ótica



Fonte: Forouzan

Vantagens

- **Isolação elétrica:** umas das principais características da fibra ótica é que a mesma é dielétrica (não conduz eletricidade). Isso se deve ao fato de que as mesmas são feitas normalmente de plástico ou de vidro, que são materiais isolantes. Com isso, não há necessidade de se preocupar com aterramento nem com interferência eletromagnéticas que possam ser causadas por equipamentos próximos;
- **Mais informações e maiores distâncias:** a fibra ótica permitiu uma maior taxa de transmissão de dados. Isso se deve a uma maior largura de banda em relação aos cabos de cobre que eram usados. A distância em que essas informações podem ser transmitidas também aumentou bastante, pois a fibra ótica possui uma menor quantidade de erros na transmissão.
- **Redução de custos:** devido as razões citadas no item anterior, a quantidade de linhas físicas de transmissão de dados irá diminuir devido ao aumento no tráfego de informações, bem como, o número de repetidores e regeneradores de sinal, já que a quantidade de erros diminuiu. Isso leva a uma economia em relação aos cabos de cobre usados anteriormente;
- **Redução de tamanho e peso:** Se comparada com os cabos de cobre, as fibras são menores e mais leves, diminuindo o volume ocupado. Essa característica permitiu reduzir os graves problemas que aconteciam de lotação e congestionamento de dutos subterrâneos. Devido

a esse mesmo motivo, ela também passou a ser utilizada em diversos lugares e aplicações, como por exemplo, em aviões, satélites ou em aplicações militares.

Desvantagens

- **Instalação e manutenção:** Apesar da fibra ótica não ser algo tão novo, sua instalação e sua manutenção ainda exigem mão-de-obra qualificada;
- **Custo:** Apesar de os cabos de fibra ótica estarem barateando ao longo dos anos, o custo ainda é relativamente mais caro que outros meios de transmissão guiados.

2.3 Atenuação

As perdas que acontecem na fibra ótica durante a transmissão do sinal luminoso são de grande importância pois é pelo estudo destas que será determinado as distâncias existentes entre o transmissor e os diversos amplificadores situados ao longo da rede. Essas distâncias são relevantes pois os receptores do sinal luminoso só conseguem ler o sinal a partir de um valor de potência mínimo.

A atenuação causa perdas devido ao percurso do sinal por toda a extensão da fibra ótica, o que acaba limitando o comprimento total do enlace (AMAZONAS, 2005). Essas perdas ocorrem em vários pontos do enlace, por exemplo, nos conectores, nas fusões e inclusive na própria fibra. A atenuação α pode ser facilmente calculada com base na potência de entrada (P_{in}) e na potência de saída (P_{out}) por meio da seguinte relação:

$$\alpha(dB/km) = \frac{10 \log\left(\frac{P_{in}}{P_{out}}\right)}{L} \quad (2.3)$$

onde L é o comprimento da fibra.

As fibras óticas normalmente são feitas de plástico ou vidro, apesar de que nos dias de hoje, já são feitos estudos para se usar fibras poliméricas. As fibras de vidro na maioria das vezes possuem uma atenuação menor que as de plástico, o que as torna mais apropriadas para enlaces de longas distâncias. Elas são fabricadas por meio de moléculas de Sílica (SiO_2) e dopadas por outros materiais, como o Boro, Fósforo, entre outros. Essa dopagem é feita para que se possa obter diferentes índices de refração na fibra ótica.

Os principais mecanismos que causam a atenuação do sinal da fibra ótica são:

1. Absorção;
2. Espalhamento;
3. Curvaturas;

4. Projeto do guia de onda.

2.3.1 Absorção

As perdas por absorção podem ser classificadas em três tipos:

Absorção por defeitos atômicos na composição do vidro

Pode-se considerar como defeitos atômicos a ausência de moléculas, a alta concentração de elementos de mesmo grupo atômico, entre outros. Esta, muitas vezes, é considerada desprezível em comparação com outras absorções. Apesar disso, dependendo de qual aplicação terá essa fibra, a mesma pode apresentar grandes perdas devido a defeitos atômicos, que é o caso de quando as mesmas são expostas a radiação ionizante.

Essa radiação, que pode ocorrer em algumas ocasiões, como em exames médicos ou em usinas nucleares, acaba danificando o material da fibra óptica, alterando sua estrutura interna. Essa atenuação, que depende da energia dessa radiação ionizante, acaba por aumentar a atenuação devido a diversos defeitos atômicos que acabam surgindo.

Absorção intrínseca pelos átomos-base constituintes do material da fibra

A absorção intrínseca é propriedade natural do vidro. Ela resulta de bandas de absorção eletrônica na região ultravioleta e das bandas de vibração atômica na região infravermelho. (KEISER, 2014)

A absorção na região ultravioleta pode ser caracterizada por um pico de perdas que diminui a medida que se aproxima da luz visível. Esta absorção acontece na interação de um fóton com um elétron. Devido a grande distância dessa região para a região em que a fibra opera, esta pode ser desconsiderada.

Já na região de infravermelho, os picos de perda por absorção são entre 7 e 12 μm . Esta perda é caracterizada pela presença de íons do tipo OH^- e pelas vibrações de ligações de Silício e Oxigênio. Quando o campo eletromagnético do sinal luminoso que percorre a fibra, entra em contato com essas ligações, ocorre uma transferência de energia do campo para a ligação, gerando assim a perda por meio da energia térmica que acaba movimentando os átomos.

Absorção extrínseca por átomos de impureza no material de vidro

As principais perdas por absorção são as causadas pelas impurezas na composição da fibra. Diferente dos materiais usados na dopagem da fibra, que são colocados propositalmente

e de forma controlada, as impurezas são substâncias indesejáveis que acabam se introduzindo no vidro durante sua fabricação. Essas impurezas são normalmente formadas por íons OH^- e íons metálicos, como o ferro, o cobre, entre outros.

As perdas causadas pelos íons metálicos se deve as camadas eletrônicas que não são preenchidas completamente. A absorção de luz que acontece na fibra faz com que os elétrons acabem transitando entre os diferentes níveis de energia dos íons, indo de uma camada mais baixa para uma mais alta.

Já os íons de OH^- causa perdas devido sua vibração, que acontece devido a mobilidade térmica. Essa frequência de vibração entra em ressonância quando o comprimento de onda é de $2,73\mu\text{m}$, o que faz com que as ligações químicas do material estiquem e contraíam (AMAZONAS, 2005).

Para se ter uma dessa absorção causadas por impurezas, a tabela abaixo mostra as perdas em dB/km para diferentes tipos de elementos.

Tabela 1 – Perdas causadas por impurezas em ppm

Impureza	Perda causada por 1ppm de impureza (dB/km)	Pico de absorção (nm)
Ferro: Fe^{2+}	0,68	1100
Cobre: Cu^{2+}	1,1	850
Cromo: Cr^{2+}	1,6	625
Vanádio: V^{4+}	2,7	725
Água: OH^-	1	950

2.3.2 Espalhamento

Outro tipo de perda que causa a atenuação da potência do sinal luminoso é o espalhamento. Elas ocorrem quando parte da energia do sinal luminoso que está percorrendo o interior da fibra é convertido em algum modo de propagação ou comprimento de onda que não consegue se propagar pela fibra óptica. Esse mecanismo pode ser dividido entre linear e não-linear (AMAZONAS, 2005).

O espalhamento linear se resume basicamente ao chamado **Espalhamento de Rayleigh**. Ele é causado por não-homogeneidades aleatórias, muito menores que o comprimento de onda da luz, que afetam o índice de refração da fibra. Essas não-homogeneidades acabam se solidificando na fibra óptica durante sua fabricação. As moléculas de Sílica se movem aleatoriamente enquanto o vidro é fundido e depois se alojam quando o material é resfriado.

Devido a essas não-homogeneidades, ocorrem flutuações na densidade da fibra, que como consequência, leva a flutuações aleatórias no índice de refração do material constituinte. A magnitude desse tipo de espalhamento é proporcional ao comprimento de onda num valor de λ^{-4} , ou seja, nos comprimentos de onda próximos ao infravermelho a atenuação é menor se comparada a faixa de operação próxima a ultravioleta. Logo, essas perdas podem ser escritas como:

$$\alpha_R = \frac{C}{\lambda^4} \quad (2.4)$$

sendo C uma constante com valores entre 0,7 e 0,9 (dB/km)- μm^4 , dependendo dos materiais que compõem o núcleo da fibra.

Já se tratando do espalhamento não-linear, têm-se o espalhamento de *Raman*. Ele acontece para níveis muito alto de potência do sinal. Quando o sinal é modulado, o mesmo se propaga por meio da vibração das moléculas dentro do meio, seja este de vidro ou de plástico. Devido a esta modulação, novas frequências são formadas, e consequentemente, cada uma delas acaba absorvendo energia. Muitas das vezes, essas frequências estão em modos que não se propagam na fibra, ou seja, acaba gerando perdas.

Vale ressaltar que para as fibras do tipo monomodo, esses efeitos não lineares podem ser bastante prejudiciais. Isso se deve ao fato de que como o núcleo da fibra monomodo é bem menor que as multimodo, a densidade de potência é bem maior. Sendo assim, potências bem baixas acabam causando o espalhamento do sinal. Com base nisso, nota-se que não é possível acabar com os defeitos e perdas de um sistema simplesmente aumentando a potência do sinal enviado.

2.3.3 *Curvaturas*

Outro tipo de perda que acontece nas fibras é a perda por curvatura. Estas podem ser divididas em dois tipos:

- **Macroscópicas:** As curvas macroscópicas ou macrocurvaturas acontecem quando o raio de curvatura é grande, como por exemplo, uma fibra enrolada em um suporte ou quando é necessário contornar um canto.
- **Microscópicas:** As curvas microscópicas ou microcurvaturas acontecem geralmente quando as mesmas são alocadas em cabos, o que acaba gerando curvas aleatórias no eixo destas.

Nas *macrocurvaturas*, a perda varia de acordo com o raio de curvatura. Para curvas pouco acentuadas, com raios grandes, essas perdas podem ser consideradas desprezíveis. Porém, a medida que este raio aumenta e as curvaturas vão ficando maiores, essa perda pode se tornar um grande problema.

Estas perdas por curvatura também podem ser explicadas através da natureza eletromagnética da luz. Quando um modo de propagação está confinado no núcleo da fibra, existirá uma cauda de campo evanescente que decai em função do raio. Como esta cauda se move junto com a onda, existirá energia na casca da fibra. Dessa maneira, quando houver uma curvatura, essa energia em forma de luz existente na casca da fibra terá que se mover mais depressa do que a luz no interior do núcleo, mantendo assim o campo inalterado. Quanto menor o raio da curvatura, maior teria que ser a velocidade da luz na casca da fibra. Considerando-se uma distância máxima x_c , medida a partir do centro da fibra, a velocidade dessa cauda teria que ser maior que a da luz, o que é impossível. Logo, a energia contida nessa cauda é perdida por irradiação.

Se tratando das *microcurvaturas*, estas acontecem, como já foi dito anteriormente, devido a não uniformidade na fabricação das fibras ou quando a fibra óptica é enrolada em carreteis e sofre pressões laterais. Esses fatores acabam causando flutuações de pequena escala no eixo da fibra. Para fibras do tipo multimodo, pode-se considerar essas perdas desprezíveis. Porém, nas monomodos, dependendo do comprimento de onda, essas perdas podem ser preocupantes.

Uma maneira de minimizar essas perdas causadas pelas microcurvaturas é pela extrusão de um revestimento compressível sobre a fibra. Quando forças externas forem aplicadas a fibra, esse revestimento será deformado, mas a fibra tende a ficar relativamente reta (KEISER, 2014).

2.3.4 Projeto de Guia de Onda

Uma outra forma de atenuação nas fibra ópticas são as características intrínsecas do projeto de guia de onda. Quando se projeta uma fibra óptica, deve-se garantir a menor fuga possível de potência luminosa, confinando-a no núcleo. Também é importante o uso de uma casca que tenha uma espessura adequada, fazendo com que as perdas sejam próximas as do material do núcleo.

2.4 Dispersão do sinal óptico

Em certas aplicações, o grande problema muitas vezes não é a potência do sinal, mas sim o quanto ele está distorcido do sinal original. O receptor acaba não conseguindo interpretar o sinal recebido o que causa uma limitação na transmissão. Essa dispersão é resultado de diversos fatores, como a dispersão intermodal, a dispersão intramodal, entre outros.

2.4.1 Dispersão intermodal

Este é um tipo de dispersão que acontece somente em fibras multimodo. Como já falado anteriormente, nas fibras multimodo, os raios luminosos podem incidir no núcleo em diferentes modos com angulações diferentes. O grande problema é que, cada um desses modos, que saíram do emissor ao mesmo tempo, irão chegar no receptor em tempos diferentes e velocidades diferentes. Logo, o sinal recebido será diferente do enviado.

Quanto mais acentuado for o ângulo em que o feixe luminoso se propaga, maior será a ordem do modo e, conseqüentemente, mais lenta será a velocidade de grupo axial. (KEISER, 2014) Devido a essas variações, ocorre um espalhamento, que é a denominada *dispersão intermodal*. O máximo alargamento que acontece devido a essa dispersão pode ser encontrado pela diferença entre o modo do tempo T_{max} , que é o tempo do caminho mais longo e o tempo do modo T_{min} do caminho mais curto. Logo, para uma fibra de comprimento L , índice de refração n_1 no primeiro meio e n_2 no segundo meio, têm-se que o atraso modal é:

$$\Delta T = T_{max} - T_{min} = \frac{n_1}{c} \left(\frac{L}{\sin\phi_c} - L \right) = \frac{Ln_1^2}{cn_2} \Delta \quad (2.5)$$

sendo Δ a diferença de índice de refração.

2.4.2 Dispersão intramodal

A dispersão intramodal, caracterizada pelo espalhamento de pulso dentro de um único modo, também pode ser chamado de *dispersão da velocidade de grupo*, já que a dispersão que acontece resulta do fato de a velocidade de grupo ser em função do comprimento de onda.

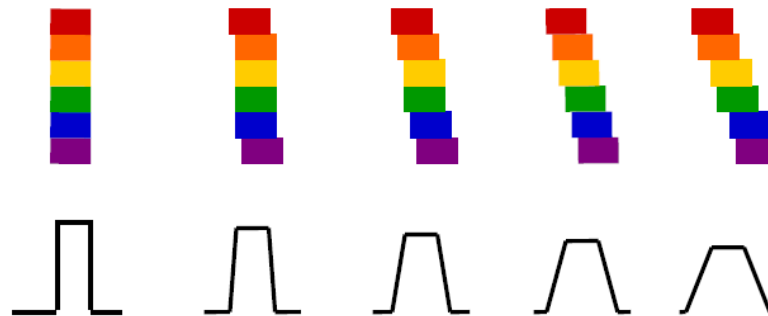
Essa dispersão pode ser resumida em dois fatores:

1. **Dispersão material:** Esta dispersão ocorre devido aos diferentes índices de refração do núcleo, que varia de acordo com o comprimento de onda. O feixe luminoso é composto de vários pulsos de luz com comprimentos de onda diferentes. Como cada um destes

irá percorrer a fibra em velocidades diferentes, chegarão na saída também em tempos diferentes. Quando forem somados, existirá um atraso de tempo, o que acaba causando o alargamento do sinal de saída. Quanto maior o caminho que o feixe luminoso precisar percorrer, maior será o alargamento na saída.

A Figura 21 demonstra essa dispersão de maneira mais intuitiva:

Figura 21 – Dispersão material



Fonte: IFSC

2. **Dispersão de guia de onda:** A dispersão de guia de onda acaba causando um espalhamento do pulso. Isso se deve ao fato de que, dentro de um mesmo modo de propagação, a luz irá se distribuir de maneiras diferentes dependendo do comprimento de onda. Quanto maior o comprimento de onda, maior será a energia luminosa que ficará armazenada na casca, ou seja, para comprimentos menores, a energia se concentra mais no núcleo.

A dispersão, que acaba por alterar a velocidade em que cada componente se propaga, surge a partir disto, desta diferença na distribuição de energia entre o núcleo e a casca e também das várias velocidades dos diversos comprimentos de onda.

Esta dispersão normalmente só é levada em conta em fibras monomodo, podendo ser ignorada nas do tipo multimodo.

2.4.3 Dispersão modal de polarização

Esse tipo de dispersão acontece decorrente do fato de que, em certos comprimentos de onda da fibra monomodo, a energia luminosa acaba por ocupar dois modos de polarização. A medida que esses raios se propagam por toda a extensão da fibra, acabam por colidir com diversos índices de refração diferentes. Logo, a velocidade de cada raio acaba sendo alterada e os mesmos chegam em tempos diferentes na saída, causando o alargamento do pulso.

Pode-se entender **polarização** como a orientação do campo elétrico de uma onda

eletromagnética, nesse caso a luz, que pode variar ao longo da fibra óptica. A Figura 22 mostra os dois modos de polarização na fibra monomodo.

Figura 22 – Dispersão modal de polarização



Fonte: IFSC (Adaptado)

Como já foi dito, esses dois modos acabam chegando com um intervalo de tempo $\Delta\tau_{PMD}$ entre eles. Agora, considerando as velocidades de cada um desses modos como sendo V_{gx} e V_{gy} , têm-se que esse atraso, para um dado comprimento L da fibra óptica é:

$$\Delta\tau_{PMD} = \left| \frac{L}{V_{gx}} - \frac{L}{V_{gy}} \right| \quad (2.6)$$

3 METODOLOGIA

3.1 Redes ópticas passivas

Os capítulos anteriores deram o embasamento do funcionamento da fibra óptica e porquê de utilizá-la. Neste capítulo, o foco será no funcionamento prático das PON, apresentando os tipos de redes existentes e os equipamentos que geralmente são usados nessas redes.

3.1.1 Redes EPON e GPON

As Redes Ópticas Passivas, ou PON, são redes de alta velocidade e ótimo desempenho. Com elas, consegue-se atingir grandes distâncias devido ao uso da fibra óptica e os componentes passivos existentes por todo o enlace. Esta tecnologia permite usar somente uma fibra para transmitir dados e vídeo. Por essas e outras características, esta é a tecnologia ideal para criação de novas redes de internet banda larga. Elas podem ser divididas entre *Ethernet Passive Optical Network* (EPON) e GPON, com cada uma de suas características mostradas na Tabela 2 abaixo:

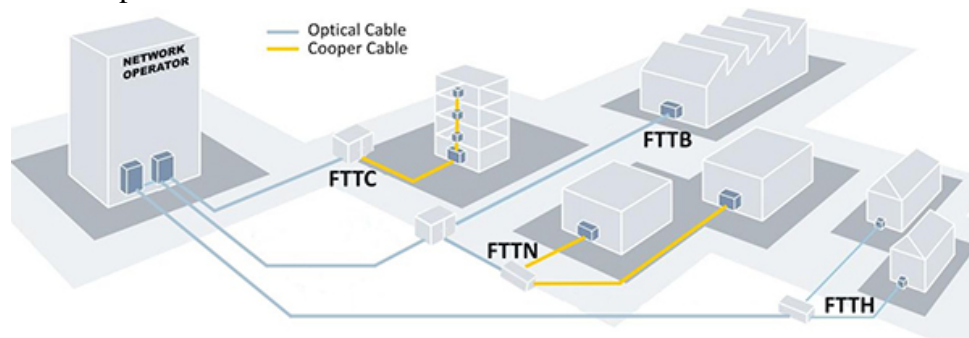
Tabela 2 – Diferenças das redes EPON e GPON

	EPON	GPON
Padrão e protocolo	IEEE 802.3ah, Ethernet	ITU-T G.984, GEM
Tamanho dos Pacotes	1518 bytes	de 53 até 1518 bytes
Velocidade de Transmissão	Simétrica, Down - 1,25 Gbps Up - 1,25 Gbps	Assimétrica, Down - 2,5 Gbps Up - 1,25 Gbps
Comprimento de Onda	Down - 1490nm Up - 1310nm	Down - 1490nm Up - 1310nm
Distâncias	20 km	20 km
Divisões	16, 32 ou 64	32, 64 ou 128
Eficiência	67%	93%
Compatibilidade	Permite compatibilidade entre vários fabricantes	O ITU-T não é aconselhável compartilhar com outros fabricantes

Este tipo de rede funciona por meio da tecnologia de *Multiplexação por Divisão de Comprimento de Onda* (WDM), onde cada tipo de informação é enviado em um comprimento de onda diferente. Por exemplo, para *downstream* usa-se o comprimento de 1490 nm, enquanto que para *upstream* usa-se 1310 nm.

Por meio destas redes óticas passivas, faz-se a montagem das arquiteturas de rede conhecidas como *Fiber to the 'x'* (FTTx). Esse 'x' serve para definir até que ponto a rede chega. Por exemplo, têm-se o *Fiber to the building* (FTTB) onde a fibra chega até o prédio, a *Fiber to the apartment* (FTTa) onde a fibra chega até o apartamento, e também o mais conhecido, e que será o usado neste trabalho, que é o FTTh onde a fibra chega até a casa do cliente.

Figura 23 – Exemplos de redes FTTx



Fonte: InfraRoi

3.1.2 Conexão dedicada × Conexão compartilhada

Os provedores de internet geralmente oferece dois tipos de *link* de internet para os seus clientes: o compartilhado e o dedicado.

Na conexão compartilhada, a banda com uma certa quantidade de "megas" que você contrata do provedor é compartilhado entre diversos usuários, ou seja, mesmo que você contrate um plano de 10Mb ou 20Mb, a velocidade dificilmente chegará a esses níveis. Esta velocidade pode variar muito durante o dia, chegando ao seu menor valor em horários de pico, onde existem muitos acessos simultâneos. A vantagem deste tipo de conexão em relação a dedicada é que os valores dos planos são bem mais baratos.

Já na conexão dedicada, toda a banda do plano que você contratar do provedor será usado somente por você. As vantagens deste tipo de conexão são a velocidade, que será a máxima possível, e a ótima estabilidade do sinal, já que você é o único usuário que está usando. Os custos, tanto de instalação como da mensalidade, são mais altos que na conexão compartilhada.

3.2 Principais componentes das redes FTTh

Como foi dito na seção anterior, nas redes PON, quase todos os equipamentos são passivos, ou seja, não precisam de alimentação a partir da rede elétrica. Somente dois

equipamentos precisam de conexão com a energia, sendo eles a *Optical Line Terminal (OLT)*, que fica na central do provedor, e a *Optical Network Unit (ONU)*, que fica dentro da casa de cada cliente. Os principais componentes presentes nessas redes são descritos a seguir:

3.2.1 OLT

A OLT (Optical Line Terminal) é um equipamento ativo, localizado na central do provedor de internet. Ele tem como função principal o controle de serviço *Quality of Service (QoS)* destinado aos usuários finais.

Ele tem a função de efetuar a conexão dos usuários com a central, transmitir dados, voz e vídeo no sentido operadora-usuário para todos os usuários conectados na rede, gerenciar a comunicação de dados, controlar a largura de banda alocada para cada usuário e caso seja necessário, controlar a alocação dinâmica de largura de banda. Além disso, é responsável por processar os sinais GPON, realizar a sincronia entre as ONUs e realizar as verificações de segurança (SILVA, 2012)

Associado com a OLT, existem os GBICs. Este equipamento é um pequeno transceptor que se conecta à porta GPON da OLT e se conecta aos cabos de fibra óptica na outra extremidade. Ao escolher o módulo GBIC apropriado, a mesma porta da OLT pode se conectar a fibras de tipos diferentes (multimodo ou monomodo) e diferentes comprimentos de onda. O GBIC converte os sinais elétricos seriais em sinais ópticos seriais e vice-versa.

A plataforma GPON OLT AN5516-04 produzida pela FiberHome é um equipamento altamente avançado, sendo considerado um “*carrier class*” de alta capacidade, podendo atender até 1024 ONUs por meio de splitters com razão 1:64. Ela possui um backplane do chassi com 10Gbps e do tipo “*non traffic block*” e consegue suportar até 4 portas 10GE / 12 portas 1GE como uplinks, para conexão ao backbone da rede.

Figura 24 – Terminal de linha óptico (AN5516-04)



Fonte: <https://www.conectwi.com.br/fibra-optica/olt-gpon-1/olt-fiberhome-an-ac-power-sem-placa-epon-gpon-com-slots-com-fonte-ac.html>

3.2.2 DIO

O Distribuidor Interno Óptico (DIO) tem como função facilitar o manuseio dos cabos que vem da OLT. Este cabo é bastante rígido, tornando difícil de se trabalhar com ele. O DIO protege o cabeamento e facilita a instalação deste, organizando e armazenando de forma segura. Os mais comuns suportam até 72 fusões de fibra óptica. As fibras chegam nele e são abrigadas em sua carcaça, onde é realizada uma emenda disponibilizando apenas conectores ópticos. (OLIVEIRA, 2017)

Figura 25 – Distribuidor Interno Óptico



Fonte: <https://www.conectwi.com.br/distribuidor-interno-ptico-dio-fit-f-sc-mm-rack-1.html>

3.2.3 Splitter

Os *splitters* são divisores do sinal óptico, sendo os mais comuns aqueles que fazem a divisão 1x8 (1 para 8). Este é um dos principais componentes das redes PON, pois é por meio dele que se pode atender diversos clientes usando uma única fibra vinda da central, criando-se assim, uma rede ponto-multiponto.

Estes podem ser de dois tipos: balanceados ou desbalanceados. Os *splitters* balanceados dividem igualmente a potência do sinal de entrada, ou seja, cada uma das saídas vai receber um mesmo valor equivalente da divisão. Por exemplo, um *splitter* 1x8 (Ler-se: 1 para 8) divide o sinal da fibra de entrada em 8 sinais de igual potência. Já nos desbalanceados, o sinal é dividido de forma desproporcional, como por exemplo, em um *splitter* 1x2, 90% do sinal vai para uma saída enquanto os outros 10% irá para a outra saída.

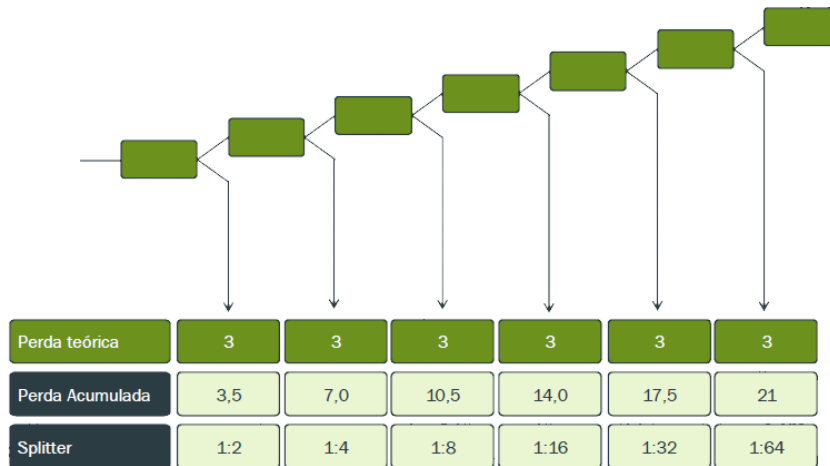
Figura 26 – Splitter 1x8



Fonte: <https://www.conectwi.com.br/splitter-ptico-plc-x-sc-apc-1.html>

As perdas de potência que ocorrem com o uso dos *splitters* é mostrado na Figura 27, para diversos níveis de divisão.

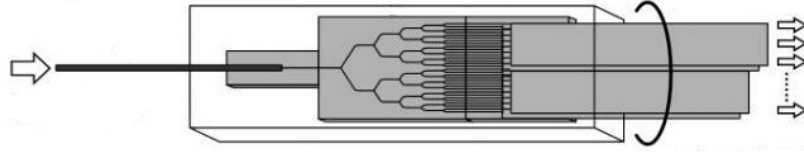
Figura 27 – Perdas decorrentes dos splitters



Fonte: Alan Araújo (Modificada)

A Figura 28 mostra como que acontece essa divisão do sinal tendo como base um splitter 1x32

Figura 28 – Estrutura interna de um splitter



Fonte: <https://medium.com/@chetankumar.nv/structure-of-plc-splitter-6f5b573e3444> (Modificado)

3.2.4 CEO

A Caixa de emenda óptica (CEO) é o equipamento que fica localizado nos postes ou nos vãos entre os postes. Este serve para acomodar as fibras que foram unidas no processo de fusão, protegendo-as do contato com o meio externo, sendo resistente a água, poeira e outras impurezas presentes no meio ambiente. Esta pode ser encontrada em diversos tamanhos, chegando a acomodar dezenas de fusões.

Figura 29 – Caixa de emenda óptica



Fonte: <https://www.conectwi.com.br/fibra-optica/caixa-de-emenda-1/caixa-de-emenda-ptica-ceo-a-fibras-c-bandeja-homologada.html>

3.2.5 CTO

A Caixa de terminação óptica (CTO) é o equipamento que recebe a fibra e faz a distribuição desta para os diversos clientes. Ela acomoda e protege as emendas feitas por fusão entre o cabo do *backbone*, da rede de distribuição, e os cabos *drops* da rede de atendimento.

A FDP-420A-8 da Fiberhome é uma CTO com diferentes painéis divisores que suportam divisor micro ou divisor LGX com adaptador. Ela é feita de um material muito resistente, adaptando-se a diversas condições climáticas, como chuva e poeira, além de proteger

contra raios UV.

Figura 30 – Caixa de terminação óptica



Fonte: <https://www.conectwi.com.br/caixa-de-distribui-o-ptica-cto-fdp-a-atendimento-x-sc-apc-fiberhome.html>

3.2.6 ONU

A ONU é o equipamento final da rede FTTh. Assim como a OLT, este também é um equipamento ativo, que fica instalado na casa do cliente. Dentre suas funções, destaca-se: processar os dados recebidos viabilizando a aplicação de algoritmos de priorização de QoS, disponibilizar interfaces para serviços de comunicação de dados, telefonia, televisão rádio frequência, conforme a configuração fornecida pelo fabricante. Para que isso ocorra, ela deve ter a velocidade de comunicação de dados equivalente a velocidade do OLT, mas disponibilizando ao usuário apenas a fração de velocidade destinado a ele. (SILVA, 2012)

Um fator importante das *ONUs* é sua sensibilidade de recepção. Dependendo da potência que o sinal da *OLT* chega até esta, é possível que a ONU acaba não detectando, devido a uma potência muito baixa. Desta forma, a rede deve ser projetada para que os valores de potência do sinal que chega na ONU esteja entre -25 e -30 dBm.

A ONU GPON FIBERHOME 5506-01-A MINI possui uma porta Giga, suportando a distância de transmissão até 20 km e cumprindo o padrão ITU-T G.984. Suporta classe B +, com sensibilidade de recepção inferior a -29 dBm.

Figura 31 – Optical Network Unit



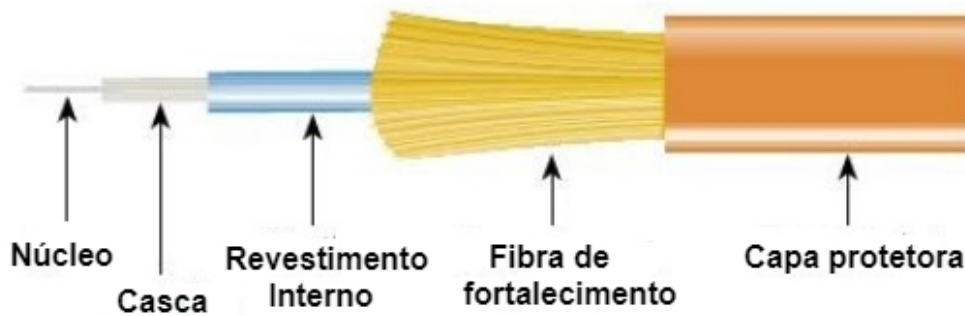
Fonte: <https://www.conectwi.com.br/fibra-optica/onu-gpon-1/onu-gpon-fiberhome-a-mini-x-porta-giga-ethernet-bridge-pr.html>

3.2.7 Cabos Ópticos

Os cabos ópticos são a estrutura básica das redes, por meio deles que o sinal vai se propagar da central, saindo da OLT, até o final da rede, chegando na ONU. Sua estrutura básica, demonstrada na Figura 32, é a seguinte:

- No interior do cabo, existe o núcleo, que é feito de vidro, ou plástico, originado a partir da Sílica (SiO₂), com um elevado grau de pureza.
- Revestindo o núcleo, existe uma casca, composta basicamente dos mesmos materiais do núcleo, porém com um índice de refração diferente, fazendo com que a luz se propague no interior.
- Protegendo a casca e o núcleo, têm-se um revestimento interno, que ajuda na resistência contra impactos.
- Ao redor deste revestimento, existem fibras de fortalecimento, feitas normalmente de Kevlar, que é um material extremamente resistente e leve. Este evita a ruptura da fibra quando a mesma sofre alguma tração ou puxão durante a instalação.
- Na parte mais externa, existe uma capa protetora, responsável por proteger todo o seu interior de agentes externos presentes no meio ambiente.

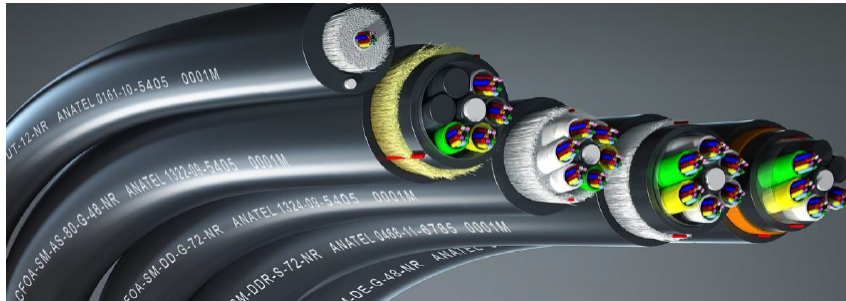
Figura 32 – Estrutura cabo de fibra óptica



Fonte: Rutish Patel (Modificado)

Os padrões de qualidade destes cabos são definidos pelas Normas Brasileiras Regulamentadoras (NBR), criadas pela ABNT. No Brasil, a padronização de cores e de fibra se dá pela TIA 598-C.

Figura 33 – Exemplos de cabos ópticos



Fonte: <https://under-linux.org/entry.php?b=4668>

Estes cabos podem ser divididos em 5 categorias diferentes, cada uma delas tendo sua aplicação. São estas:

1. **Cabos Ópticos Externos:** Este tipo de cabo é voltado para aplicações *outdoor*, ou seja, para áreas externas. Estes são usados para a maioria das redes FTTx, pois é através deles que o sinal sai da OLT e chega até as CTO's. São mais robustos e resistentes à ação do sol e do meio ambiente. Normalmente são autossustentados e podem chegar a ser usados em vãos de até 200m.
2. **Cabos Ópticos de Terminação:** Este tipo pode ser usado tanto em aplicações *indoor* como em *outdoor*. Normalmente são utilizados na saída da CTO e vão até a casa do cliente. Estes possuem uma proteção igual a dos cabos externos, comentados acima,

porém, também atendem aos quesitos de flamabilidade, presente nos cabos internos. Esse quesito diz respeito a capacidade de evitar que incêndios se propaguem dentro de ambientes fechados e também controlar a emissão de fumaça.

3. **Cabos Ópticos de Acesso:** Estes cabos realizam a ligação da caixa de atendimento até a casa do cliente. São comumente conhecidos como cabo "*drop*", devido a sua característica de autossustentabilidade e por realizarem a descida do poste até a altura da ONU. Como parte destes ficam em ambiente externo, também possuem proteção contra ação do sol e do meio ambiente.
4. **Cabos Ópticos Internos:** Os cabos internos são utilizados somente em aplicações *indoor* pois não possuem uma proteção adequada contra o sol e o meio ambiente. Possuem diversas subdivisões, que variam de acordo com a classe da flamabilidade. Normalmente são alojados dentro de dutos.
5. **Cordões Ópticos:** São utilizados também para aplicações *indoor*. Estes diferem dos cabos internos devido a sua maior flexibilidade e dimensões menores, porém, acaba que por reduzir sua resistência mecânica.

Os cabos ópticos externos possuem nomenclaturas inscritas em sua capa protetora, como pode ser visto na Figura 33. As tabelas abaixo descrevem o significado de cada sigla:

Tabela 3 – Especificação de Cabos Ópticos Externos

Sigla	Significado
CFOA	Cabo de fibra óptica de acrilato
SM ou MM	Tipo de fibra – monomodo ou multimodo
AS	Autossustentado
80, 120, 200...	Vão máximo entre os postes
G ou S	Proteção contra umidade – gelado ou seco
'x'F	'x' é o número de fibras (12,24,36...)
NR ou RC	Tipo de capa – normal ou retardante a chama

3.2.8 Conectores

Em certas partes do percurso da fibra óptica, existe a necessidade de fazer a junção de dois cabos diferentes, ou então a necessidade de unir um cabo com um *splitter*. Essas emendas podem ser feitas de dois modos: por fusão ou por conectorização.

A fusão acontece usando um equipamento próprio, mostrado na Figura 34, chamado Máquina de Fusão. Neste aparelho, as fibras são alinhadas núcleo com núcleo e fundidas em uma alta temperatura. Neste tipo de emenda, normalmente têm-se uma perda da potência do

sinal de -0,1dB.

Figura 34 – Máquina de fusão



Fonte: <https://www.cianet.com.br/produtos/ferramentas/ferramentas-ferramentas/maquina-de-fusao-fujikura-70sc/>

Na emenda por conectorização, esta união dos cabos é feita de forma mecânica, por meio de conectores. Estes podem ser de dois tipos: SC/PC (cor azul) ou SC/APC (cor verde), conforme mostrado na Figura 35.

Figura 35 – Conectores



Fonte: www.conectwi.com.br (Adaptado)

O conector *Square Connector/Physical Contact* (SC/PC) tem sua área de contato polida de forma reta, fazendo com que não exista nenhum espaço no contato entre os dois conectores, reduzindo assim, a probabilidade de interferência por meio de partículas indesejáveis. Este conector é usado normalmente para aplicações com velocidades de até 1 Gbps.

Já o conector *Square Connector/Angled Physical Contact* (SC/APC) possui uma área de contato levemente angulada, com aproximadamente 8° de angulação. Essa característica

proporciona uma conexão mais firme e mais rápida, fazendo com que este conector seja o mais usado para as redes óticas.

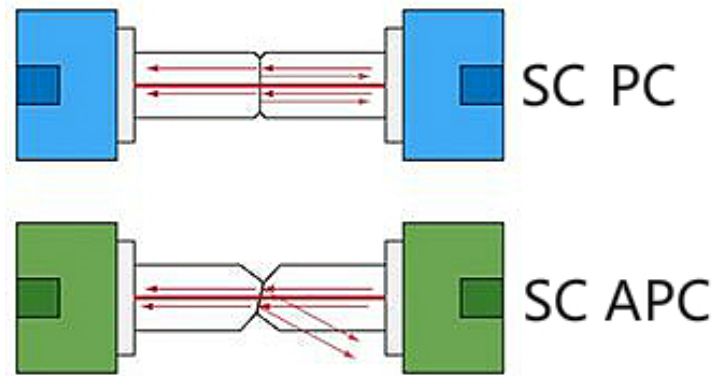
Figura 36 – Conectores tipo PC e APC



Fonte: <http://www.fiberopticsshare.com/fiber-sfp-module-compatibility-apc-upc-pc.html> (Adaptado)

Através da Figura 37 abaixo, pode-se ver com detalhes como é o polimento de cada um dos tipos de conectores. Nota-se que no conector tipo PC, o sinal luminoso acaba voltando no mesmo sentido de propagação, causando uma interferência no sinal.

Figura 37 – Detalhe do polimento nos conectores tipo PC e APC



Fonte: <http://www.fiberopticsshare.com/fiber-sfp-module-compatibility-apc-upc-pc.html>

3.3 Principais pontos de um projeto óptico

Dentre os diversos fatores que se deve levar em conta quando se faz o projeto de fibra óptica, deve-se atentar principalmente a estes: definição de serviços, previsão de demanda, *take rate*, extensão da rede, cenários, ambiente do cliente, escalabilidade e os aspectos de instalação, manutenção e operação.

- **Definição dos serviços:** Deve-se definir quais tipos de serviço a empresa irá oferecer ao cliente, sendo estes: dados, voz e vídeo. Por meio desta definição, a topologia da rede

devera ser adaptada;

- **Previsão da demanda:** A previsão da demanda irá auxiliar na escolha da configuração a ser usada no projeto.
- **Take rate:** Esta característica diz respeito a relação *Home Connected/Home Passed* (HC/HP). *HC* é a quantidade de usuários que o provedor pretende atender em um período de 3 a 4 anos depois de a rede estar pronta. Já *HP* é quantos usuários serão atendidos no final da vida útil da rede, ou seja, para períodos acima de 15 anos. Os equipamentos ativos, *splitters*, CTOs, cabos *drops* devem ser dimensionados para a quantidade de clientes HC. Já os cabos ópticos externos, os de terminação, caixas de derivação e armários, devem ser dimensionados para conseguir atender a quantidade HP.
- **Extensão da rede, cenários e ambiente:** Essas características são de bastante importância devido ao balanço de potência da rede, pois existem perdas associadas a cada um desses pontos.
- **Escalabilidade:** Este parâmetro especifica a capacidade que a rede tem de crescer ao passar do tempo. As soluções tecnológicas empregadas devem proporcionar uma evolução da rede sem que a mesma sofra alterações bruscas.

3.4 Equipamentos de medida

Os equipamentos de medição são de grande importância nos projetos de redes, pois com eles, o responsável pelo projeto poderá ser capaz de determinar se a rede está viável e funcionando como deveria.

3.4.1 Power Meter

O *Power Meter* é um equipamento de medição usado para verificar a amplitude da potência nos diferentes comprimentos de onda. Por meio destes testes, as potências dos sinais de *downlink* e de *uplink* são mensuradas e verifica-se se estes valores estão dentro do intervalo de sensibilidade dos equipamentos.

Utiliza-se um gerador de tráfego *Ethernet* para simular uma troca de dados entre a OLT e a ONU. Isso vai excitar o sistema e possibilitará que a medição seja feita antes de ligar o sistema propriamente dito.

Figura 38 – Power meter



Fonte: <https://www.conectwi.com.br/power-meter-mecedor-de-potencia-ptica.html>

3.5 OTDR

O *Optical Time Domain Reflectometer* (OTDR) ou Reflectômetro Óptico de Domínio do Tempo, é um equipamento de medida amplamente utilizado nos *links* de fibra óptica devido a sua versatilidade. Tendo como função principal identificar e localizar os possíveis problemas que acontecem no enlace, este aparelho também é capaz de determinar a atenuação na fibra, as perdas nos conectores e a refletância da luz.

Seu funcionamento se dá por meio da injeção de pulsos estreitos de laser na entrada da fibra. Utilizando-se um acoplador direcional e um circulador é possível realizar as medições. Um circulador óptico é um componente de fibra que possui três portas ópticas. Um sinal óptico injetado na porta 1 sai na porta 2 e um sinal óptico que entra pela porta 2 sai na porta 3. Os circuladores são usados em transmissão bidirecional em fibra e serve para injetar ou extrair sinais sendo transmitidos e possuem uma baixa perda de inserção e alta isolação entre as portas. Estes componentes operam em comprimentos de onda bem definidos e com uma banda da ordem de 20 a 30 nm (OPTOLINK, 2019)

Figura 39 – OTDR



Fonte: <https://www.conectwi.com.br/otdr-aq-e-wl-com-filtro-d-yokogawa.html>

Para que a OTDR consiga encontrar em que parte da rede onde ocorreu o rompimento da fibra, basta calcular a diferença de tempo entre o pulso enviado e o pulso que retornou. Sendo esta diferença t , a distância L até a imperfeição será:

$$L = \frac{ct}{2n_1} \quad (3.1)$$

sendo c a velocidade da luz no vácuo e n_1 o índice de refração do núcleo da fibra.

3.6 Diretrizes de uma rede PON FTTh

O desenvolvimento de um projeto de uma rede de fibra óptica de âmbito municipal pode seguir 5 premissas fundamentais:

1. Necessidades e expectativas dos clientes;
2. Informações sobre a região;
3. Informações sobre projeto;
4. Escolha da topologia;
5. Custo de material, equipamentos e serviços.

3.6.1 *Necessidades e expectativas dos clientes*

Após uma análise da região, foi detectado que são oferecidos hiperplanos de conexão com tráfegos de até 400Mbps/assinante. No entanto, essa espécie de usuário possui um consumo médio baixo, uma vez que a maioria dos serviços utilizados são de *streaming*, portanto a rede não precisa de alta disponibilidade 100% do tempo para eles, por exemplo quando o assinante

está assistindo um filme na Netflix em uma resolução 4K, a rede vai dar uma alta disponibilidade para ele por um curto período de tempo fazendo com que o *buffer* armazene parte do filme, o que fará com que essa disponibilidade seja alocada para outro cliente enquanto aquele assiste o filme que já estava guardado no *buffer*.

Quando você pega o total de link daquele provedor e divide pelo número de assinantes, isso vai dar um consumo médio por assinante de 0,8mbps a 1,2mbps, diferentemente do IPTV. O mercado está numa tendência muito forte para a IPTV (Tv de dados). Esses canais com resolução 4k consomem aproximadamente 25Mbps dedicados para cada cliente, com transmissão ao vivo. Ou seja, para ofertar esses serviços, a rede vai ter que oferecer pelo menos **27Mbps** de conexão para cada cliente.

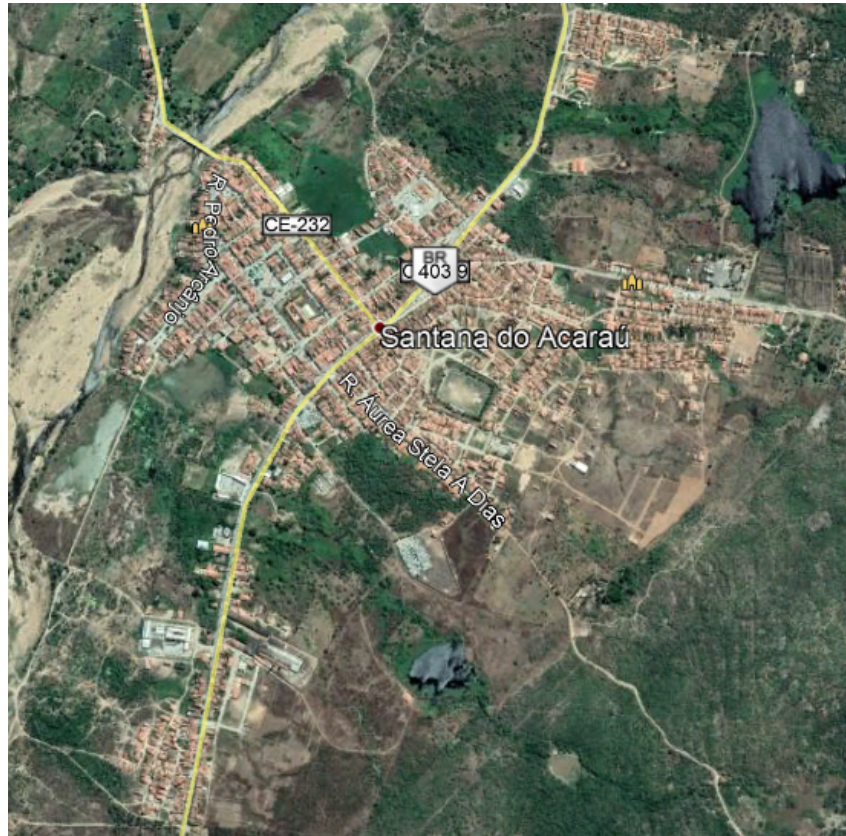
3.6.2 *Informações sobre a região*

Nas informações da região busca-se uma análise de mercado a fim de construir uma rede que possa atender aquela demanda. Ou seja, leva-se em consideração os seguintes fatores:

- Taxa de penetração desejada;
- Número de assinantes conectados;
- Tipo de atendimento (Comercial ou residencial).

Para este projeto, a região de atendimento é a cidade de Santana do Acaraú, que é mostrada na Figura 40

Figura 40 – Cidade de Santana do Acaraú



Fonte: *Google Earth*

Segundo o IBGE, no senso de 2010, Santana do Acaraú possuía 29946 habitantes, e um total de 4078 residências na zona urbana. Ainda segundo o IBGE, a estimativa da população para 2018 é de 32216 habitantes, ou seja, um crescimento de 7,5%. Fazendo esta mesma proporção para as residências, têm-se um total 4384 residências em 2018.

3.6.3 Informações sobre projeto

Nessa premissa busca-se as definições técnicas sobre a arquitetura da rede, topologia de rede, protocolo *PON* utilizado e tipo de rede.

Neste projeto, foi utilizada a topologia FTTh GPON, que foi fundamentada na secção 3.1.1, com uma rede composta por cabos autossustendados lançados por centenas de postes por toda a cidade.

3.6.4 Escolha da topologia

Nesta etapa é definida a taxa de penetração inicial que a rede terá e a sua previsão de crescimento ao longo dos anos. Também é levado em conta os serviços que serão disponibilizados

pelo provedor e qual a banda requerida para que esses serviços sejam oferecidos de forma satisfatória,

3.6.4.1 Taxa de penetração e previsão de crescimento

A taxa de penetração é um indicador que mostra a capacidade de atendimento da rede, ou seja, define o percentual de residências que poderão ser atendidas e é calculada a partir de uma análise de mercado. Como foi visto na secção 3.6.2, existem 4384 residências (IBGE) na região deste projeto e apenas 1 provedor de serviço de internet. Considerando a implementação deste trabalho o mercado ficará dividido entre 2 empresas, ou seja, 50% para cada uma. Contudo nem todas as residências desejam possuir uma conexão com a internet, dessa forma, a taxa de penetração escolhida foi de 40%.

A previsão de crescimento da rede deve ser considerada pelo projeto uma vez que a demanda por conexão de internet é crescente, conforme mostrado na Figura 2. Este trabalho considerou uma previsão de crescimento que poderá chegar ao dobro da capacidade inicial, ou seja 80% das residências. Um outro fator que justifica essa escalabilidade da rede é a durabilidade de uma rede de fibra óptica auto-suportada, que ultrapassa 20 anos.

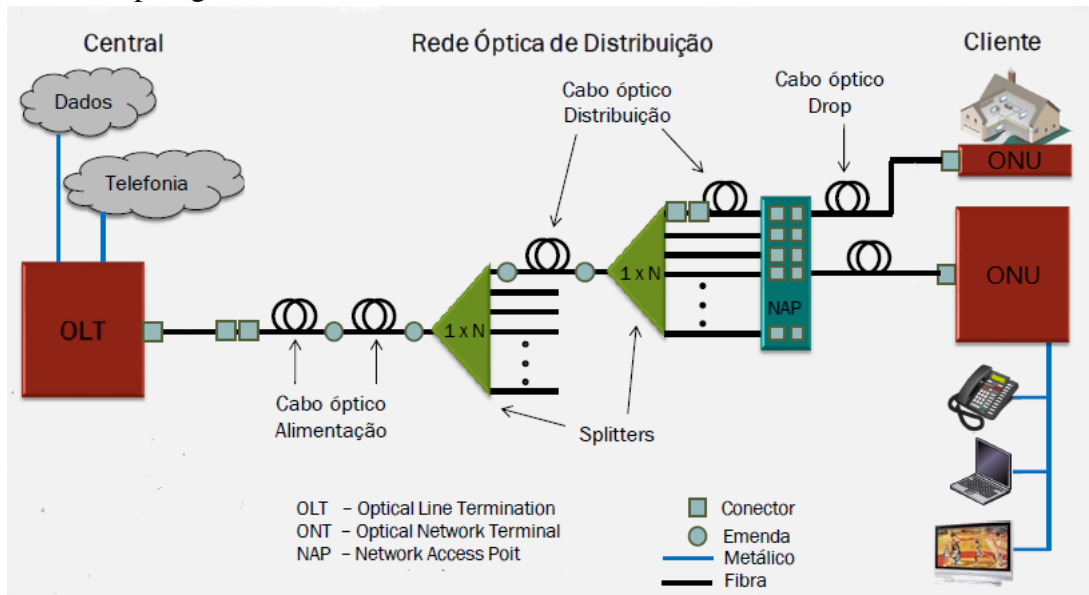
3.6.4.2 Serviços disponibilizados e necessidade de banda

Serão ofertados pelo provedor serviços de *IPTV* e planos de conexão de hipervelocidade. Será ofertada uma conexão de 27Mbps dedicados por assinante.

3.6.4.3 Razão de divisão da rede e orçamento de potência

A razão de divisão da rede é um indicador do projeto que mostra quantos assinantes a rede atenderá por uma única fibra que sai da central. Para definir a razão de divisão da rede são destacados dois fatores: a sensibilidade da ONU detectar o sinal e a ordem máxima de divisão da porta da *OLT*. Para isso, precisa-se fazer uma divisão ao longo do trajeto utilizando *splitters* ópticos. A secção 3.2.3 mostrou que por dividir o sinal, os *splitters* acabam gerando uma perda. É importante ressaltar que o limite máximo de atenuação é de -28dBm que foi mostrado na secção 3.2.6. Para atingir a razão de 1/64 que é a capacidade máxima da porta da *OLT*, foi definido uma topologia balanceada com dois *splitters* de 1x8 cascadeados, como é mostrado na Figura 44. Essa topologia oferecerá uma perda de -21dB sendo 10,5dB de cada *splitter*.

Figura 41 – Topologia da rede



Fonte: Alan Araújo (Modificado)

A fim de definir todas as perdas acumuladas em uma rede FTTh no caminho entre a *central office* até o cliente devem ser consideradas as seguinte perdas:

- Perda por conector: -0,5dB;
- Perda por fusão: -0,1dB;
- Perda por propagação do sinal: -0,35dB/km;
- Perda do *splitter*: Conforme secção 3.2.3.

Analisando a Figura 44 é possível detectar que existem 6 conectores, 4 fusões e 2 *splitlers* de 1x8 cascadeados. A distância entre a *central office* e o cliente mais distante da rede é de 2 Km portanto a perda por propagação sera de 0,70 dB. Sendo assim, a perda total é de aproximadamente 25dB.

Para encontrar a potência do sinal na ONU devem ser considerados a estimativa de perda acumulada e o ganho da OLT. Foi visto na secção 3.2.6, que a sensibilidade é de -28dBm contudo as boas práticas de projeto estipulam uma margem de segurança de 3dBm para garantir algumas perdas causadas por intempéries, dessa forma, este trabalho considera uma potencia mínima de -25dBm chegando na ONU. Esse indicador será a base para a escolha do *GBIC*.

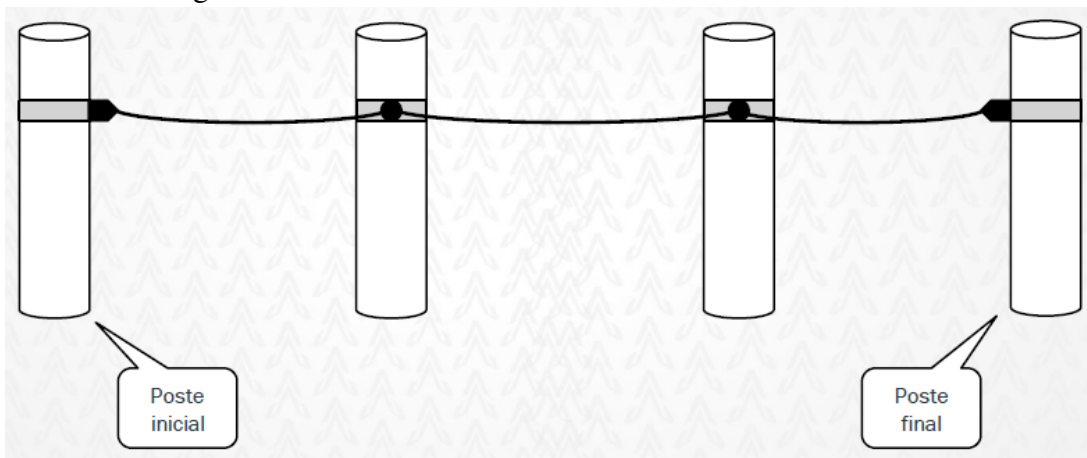
Para garantir a potencia mínima no cliente o *GBIC* classe B+ será suficiente. Mas como este trabalho projeta uma rede com duração mínima de 20 anos com uma escalabilidade para duplicar a quantidade de assinantes, então foi definido um *GBIC* classe C+ para compor a *OLT*.

3.6.4.4 Custo de material, equipamentos e serviços

Além de todos os equipamentos citados na secção 3.2, é importante entender o uso das ferragens. Esses equipamentos são usados nas redes de fibra óptica aéreas, para amarrar ou sustentar o cabo nos postes. Na rede autossustentada deste projeto, são usadas dois tipos de ferragens: de ancoragem e de passagem. As ferragens de ancoragem, composta por: Alça pré-formada, BAP e SUPA, são usadas para amarrar o cabo ao poste em certos casos:

- No poste inicial e final de uma rede;

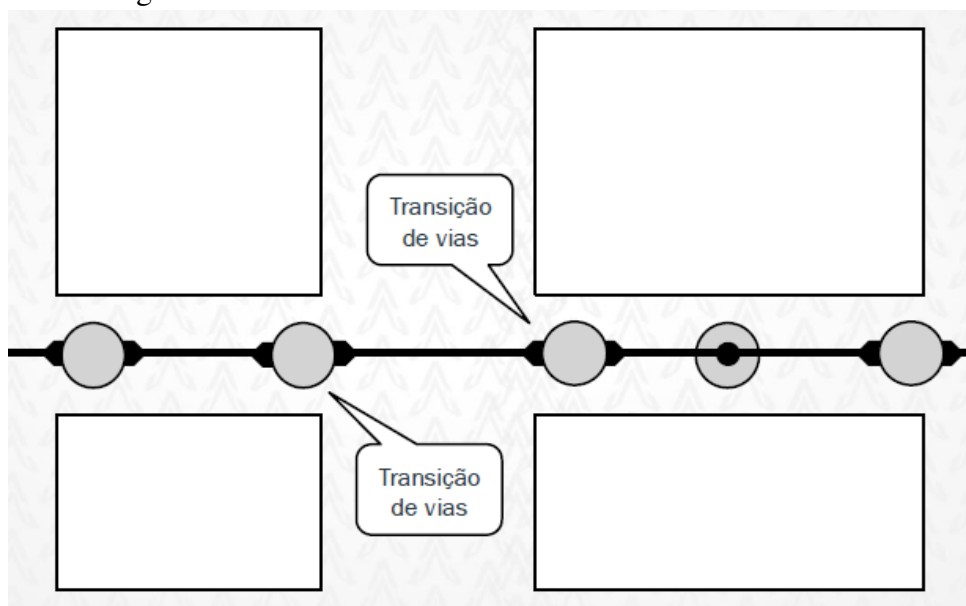
Figura 42 – Ancoragem 1



Fonte: Alan Araújo (Modificado)

- Quando existe uma transição de vias;

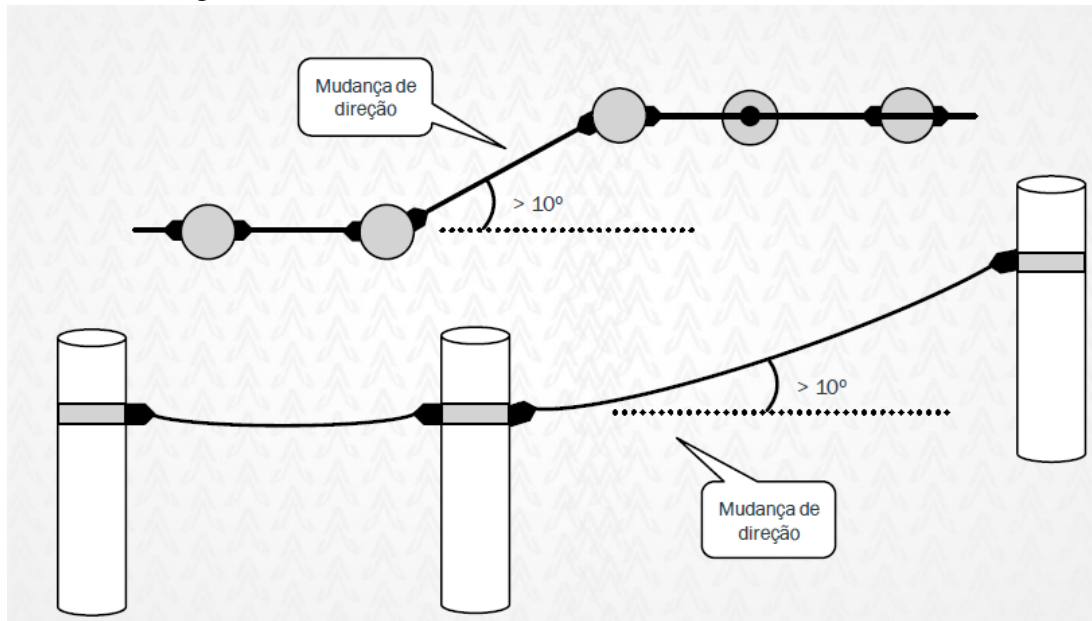
Figura 43 – Ancoragem 2



Fonte: Alan Araújo (Modificado)

- Quando existe mudança de direção;

Figura 44 – Ancoragem 3



Fonte: Alan Araújo (Modificado)

As ferragens de passagem, compostas por BAP e SUPA, são usadas nos demais casos, onde o cabo está apenas passando pelo poste.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo está voltado ao estudo e projeto de uma rede GPON - FTTh (Gigabit Passive Optical Network - Fiber to the home). Também é feito o projeto elétrico da *Central Office* desta rede e o projeto fotovoltaico para deixar esta central totalmente autossuficiente. Por fim, são mostrados os resultados obtidos com a elaboração e implantação destes projetos.

4.1 Projeto da rede óptica FTTh

Antes de iniciar o projeto propriamente dito, certos aspectos sobre as redes PON devem ser abordados, pois estes são cruciais no momento do planejamento da rede.

4.1.1 Tamanho das Células

As células de atendimento são áreas que abrangem uma certa quantidade de clientes (residências). O tamanho destas células, ou seja, a quantidade de usuários que estas vão atender, são definidas em função da ordem de divisão dos *splitter* e pela taxa de penetração. Optou-se por adotar neste projeto os *splitters* 1x8 (Ler-se: 1 para 8). Logo, o tamanho TC de cada célula é dado por:

$$TC = \frac{\text{Ordem do } \textit{splitter} \times 100\%}{\text{Taxa de penetração}(\%)} \quad (4.1)$$

4.1.2 Numero de CTOs

As CTO serão usadas de modo a atender as células. Em cada célula será posicionada uma caixa de atendimento. Logo, para se saber o número de CTOs, basta identificar qual o número total de células.

Esta quantidade também pode ser encontrada por meio da razão do número de residências com o tamanho das células. Logo:

$$\text{Num. CTOs} = \frac{\text{Num. de residências}}{\text{Tamanho da célula}} \quad (4.2)$$

4.1.3 Número de CEOs

Para se encontrar o número de Caixas de Emenda (CEO), basta fazer a razão do número de CTOs e a ordem de divisão dos *splitters* utilizados no projeto. Logo:

$$\text{Num. de CEOs} = \frac{\text{Num. de CTOs}}{\text{Ordem do splitter}} \quad (4.3)$$

4.2 Quantitativos

Levando em consideração todos os itens do tópico 4.1, obteve-se o quantitativo do projeto e se executar. A tabela abaixo demonstra esses valores.

Tabela 4 – Quantitativo das relações

Relação	Quantitativo
Num. de residências	4384
Num. possíveis clientes	1754
Tamanho da célula	20
Num. de CTOs	189
Num. de CEOs	25

4.3 Procedimento do projeto FTTh

Os procedimentos realizados na hora da elaboração do projeto são divididos em alguns passos, devendo-se seguir a ordem das etapas.

4.3.1 Rota desejada

A primeira etapa se trata da escolha da rota desejada. A empresa em questão, no caso a HeitorNet, decide a rota por onde deseja que a fibra óptica passe, dependendo de qual bairros e ruas a mesma quer atender. Para este projeto, as rotas abrangem toda a cidade de Santana do Acaraú.

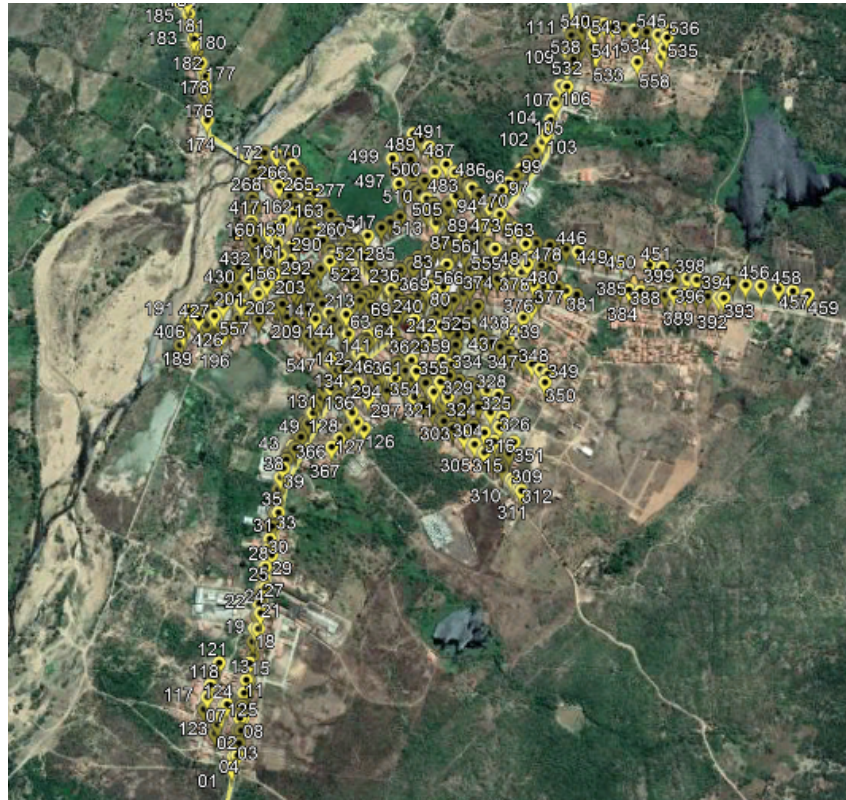
4.3.2 Coleta dos postes

Tendo conhecimento sobre as rotas, realizou-se a coleta dos postes. Através desta coleta, que foi realizada em campo, adquiriu-se diversas informações dos postes presentes na cidade.

Durante esta coleta *in loco*, as coordenadas dos postes foram marcadas com o auxílio

de um GPS de alta precisão. Esse GPS gera um arquivo com todas as marcações que pode ser exportado para o *Google Earth* para ser usado nos projetos. Caso não se tenha um GPS, esta coleta também pode ser feito pelo próprio *software*, porém, sem tanto precisão. A Figura 45 mostra a relação dos postes que foram coletados, num total de 567:

Figura 45 – Coleta postes de Santana do Acaraú

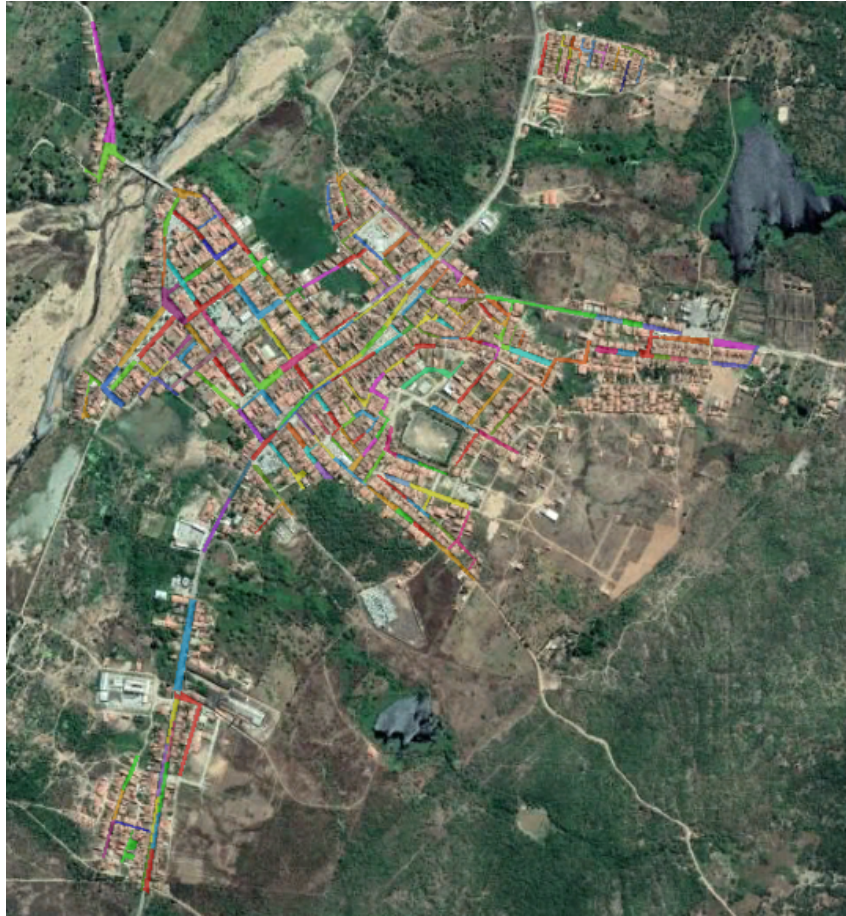


Fonte: *Google Earth*

4.4 Células de atendimento

Como já definido na subsecção 4.1.2, as células de atendimento são as regiões que cada caixa de atendimento consegue abranger. Para este projeto, cada célula abrange 20 clientes (residências). Este mapeamento é mostrado na Figura 46:

Figura 46 – Células FTTh de Santana do Acaraú



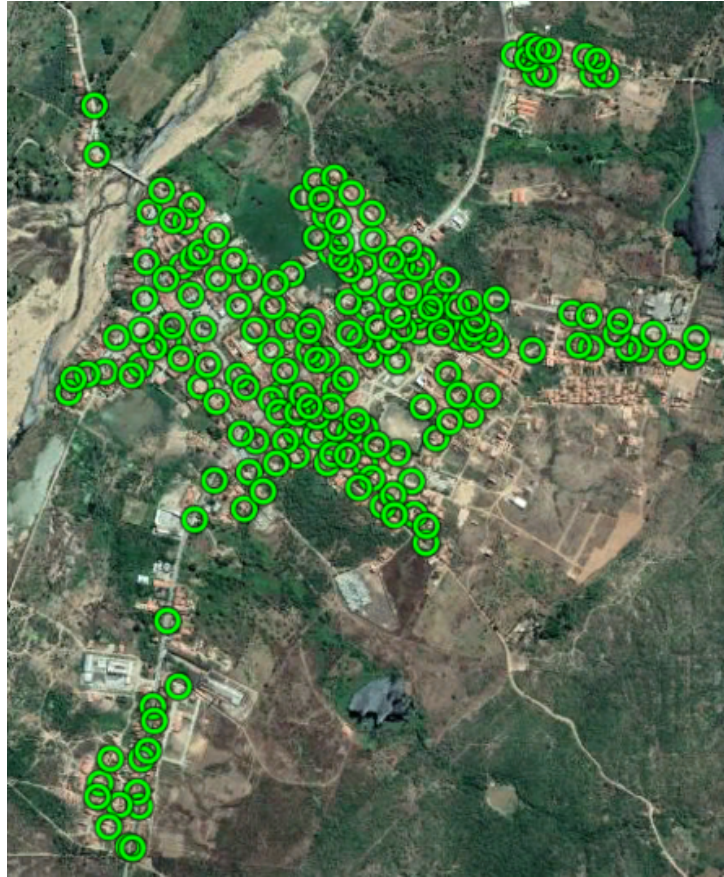
Fonte: *Google Earth*

4.4.1 Localização das CTOs

Seguindo-se para a próxima etapa do projeto, foi feito o posicionamento das caixas de atendimento (CTOs). Estas, representadas pelos círculos verdes, foram posicionadas em cada uma das células de atendimento. É ideal que estas caixas estejam posicionadas na parte da célula onde exista uma maior concentração de casas, minimizando assim o gasto com cabos *drop* para atender um cliente.

A Figura 47 mostra a posição das CTOs utilizadas no projeto. Nota-se que o número de CTOs não condiz com o resultado da equação 4.2. Isso se deve ao fato de que o número de residências foi feito por meio de uma estimativa. Levando em consideração o número de CTOs existentes no projeto, calcula-se um total de 3780 residências.

Figura 47 – CTOs FTTh Santana do Acaraú



Fonte: *Google Earth*

4.4.2 *Localização das CEOs*

As caixas de emenda, representadas pelos triângulos azuis, foram posicionados de forma que consigam abranger 8 caixas de atendimento devido ao uso do *splitter* 1x8. Cada um desses conjuntos será um novo ramal. A Figura 48 mostra a posição das CEOs utilizadas no projeto:

Figura 48 – CEOs FTTh Santana do Acaraú

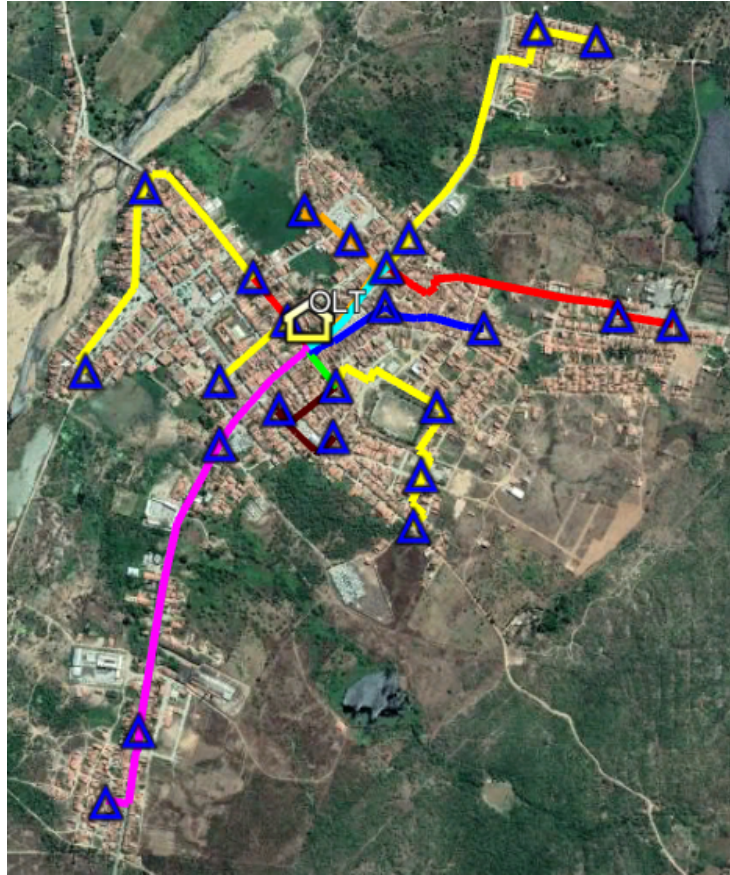


Fonte: *Google Earth*

4.4.3 Percurso do Backbone

A rede de alimentação principal, conhecida como *Backbone*, é responsável por interligar todas as caixas de emenda com a OLT do *Central Office*. Por este ligar-se diretamente com a OLT, considera-se como um dos principais elementos existentes na rede, pois qualquer mínima falha, pode acabar derrubando a rede de toda a cidade. A Figura 49 mostra as ramificações do *backbone* deste projeto:

Figura 49 – Backbone FTTh Santana do Acaraú

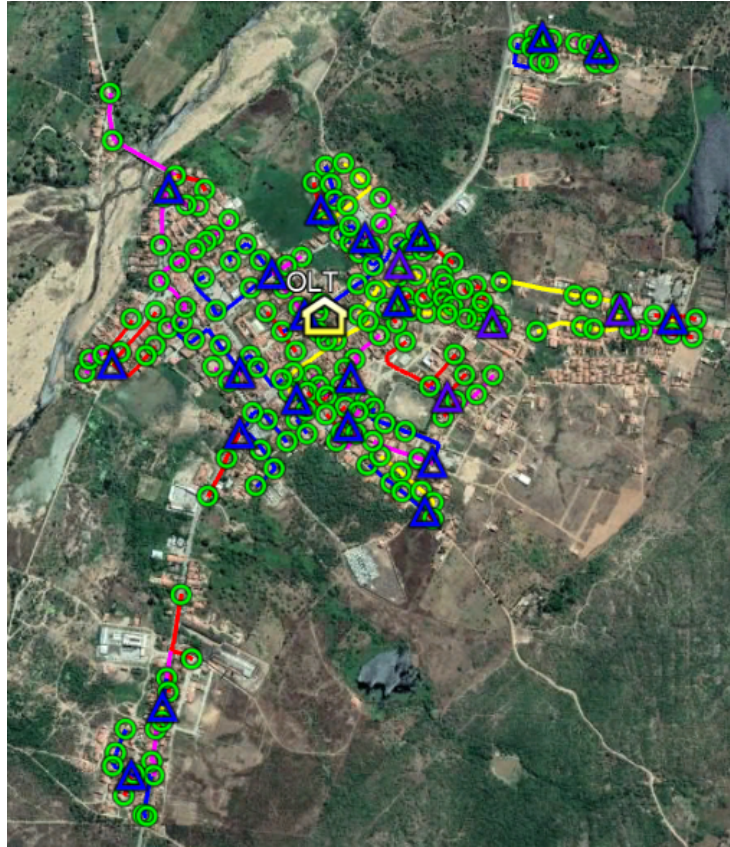


Fonte: *Google Earth*

4.4.4 Rede de distribuição

A rede de distribuição transporta o sinal a partir da CEO até cada uma das 8 CTOs de cada ramal. A Figura 50 demonstra as ramificações da rede de distribuição deste projeto:

Figura 50 – Rede de distribuição FTTh Santana do Acaraú



Fonte: *Google Earth*

4.4.5 Rede de atendimento

A rede de atendimento é a última ramificação do projeto. Ela interliga as caixas de atendimento com as ONUs dentro da casa de cada cliente. Esta ligação pode tanto ser feita por fusão como por conectorização, sendo a segunda mais comum.

4.5 Plano de fusão

Depois de feito o projeto da rede, é muito importante fazer a documentação da mesma, facilitando assim uma possível manutenção ou expansão futura. O plano de fusão é um documento que mostra um roteiro de como todas as fusões e emendas do projeto serão executados na prática. O Anexo A deste trabalho mostra o plano de fusão da rede projetada.

Os cabos de fibra óptica são produzidos seguindo certos padrões quanto a organização e coloração das fibras que o compõem. A Figura 51 mostra dois padrões de cores, um segundo as normas brasileiras ABNT, que foi o utilizado neste projeto, e outra segundo a EIA598-A. Já a Figura 52 demonstra como as fibras são organizadas, por exemplo, em um cabo de 72 fibras

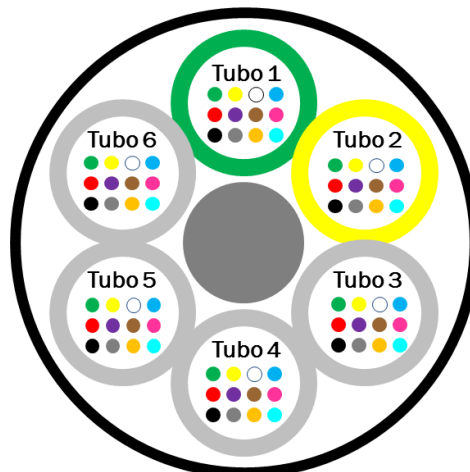
ópticas.

Figura 51 – Padrão de cores das fibras ópticas

Fibra	Cor - Padrão ABNT	Cor - Padrão EIA598-A
1	Verde	Azul
2	Amarelo	Laranja
3	Branco	Verde
4	Azul	Marrom
5	Vermelho	Cinza
6	Violeta	Branco
7	Marrom	Vermelho
8	Rosa	Preto
9	Preto	Amarelo
10	Cinza	Violeta
11	Laranja	Rosa
12	Aqua	Aqua

Fonte: <https://www.ispblog.com.br/2018/01/24/codigo-cores-fibras-opticas/>

Figura 52 – Organização em um cabo de 72 fibras ópticas



Fonte: <https://www.ispblog.com.br/2018/01/24/codigo-cores-fibras-opticas/> (Adaptado)

5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Através deste trabalho de conclusão de curso, pode-se adquirir grande conhecimento quanto ao funcionamento das comunicações ópticas, tendo como fundamentação inicial as características da luz, seguindo-se com o seu comportamento na fibra óptica, as características e tipos da fibra óptica, redes *PON* e seus diversos componentes e finalizando-se com um projeto de uma rede *GPON FTTh*.

A rede óptica projetada na cidade de Santana do Acaraú é uma ótima solução para a crescente demanda de banda que vem acontecendo nos últimos anos. Devido ao uso desta tecnologia, o usuário final estará recebendo uma internet de alta velocidade e ótima qualidade, sem problemas de transmissão, já que a fibra óptica é imune a interferências externas. Esta rede *GPON* está preparada para crescer e até mesmo duplicar sua capacidade no anos futuros, com uma garantia de 20 anos de operação sem gargalo, conseguindo atender as tecnologias de *streaming* e televisão com qualidade 4K.

Futuramente, uma ótima opção para aumentar os lucros do provedor de internet, seria a análise do fator de multiplicação de banda. Este fator diz respeito a quantidade de banda que está sendo usada em determinado plano de internet com uma certa velocidade. Por meio desta análise, o provedor vai conseguir identificar o perfil dos usuários, e conseqüentemente, poderá oferecer planos e benefícios que sejam mais lucrativo para ele e ainda assim, agradar também o cliente.




REFERÊNCIAS

- AGRAWAL, G. **Fiber-optic communication systems**. 4. ed. [S.l.]: Wiley, 2014.
- AMAZONAS, J. **Projeto de sistemas de comunicações ópticas**. 1. ed. [S.l.]: Manole, 2005.
- FELIPE, B. A evolução da internet, uma perspectiva histórica. ASLEGIS, 2013.
- FOROUZAN, B. A. **Comunicação de dados e redes de computadores**. 4. ed. [S.l.]: McGraw-Hill, 2008.
- KEISER, G. **Comunicações por fibras ópticas**. 4. ed. [S.l.]: McGraw-Hill, 2014.
- OLIVEIRA, E. F. de. **Projeto de rede óptica em âmbito municipal com sistema FTTh e aplicação GPON**. 2017.
- OPTOLINK. **Circulador Óptico**. 2019. Disponível em: <<http://www.optolink.com.br/?m=produto-detalhes&uid=42>>.
- SILVA, E. da. **Implantação de uma rede de acesso GPON**. 2012.

APÊNDICE A – PLANO DE FUSÃO DA REDE FTTH

PROJETO *FIBER TO THE HOME* (FTTH) DE SANTANA DO ACARAÚ, CE
CLIENTE: HEITORNET

RESUMO DO PROJETO

- Este plano de fusão é baseado no projeto em KMZ intitulado “FTTh Santana do Acaraú”.
- As linhas mais finas representam as ramificações da rede. Ou seja, os cabos que saem da caixa de emenda e vão para as CTOs.
- As linhas mais grossas e de outras cores representam o *backbone*. Ou seja, são os cabos que passam exclusivamente para atender as Caixas de Emenda.
-  Os círculos verdes representam as Caixas de Atendimento (CTO)
-  Os triângulos azuis representam as Caixas de Emenda.
-  Os triângulos vermelhos representam as Mini Caixas de Emenda

INTRODUÇÃO.

O **Código de cores** é utilizado para definir o número da **fibra** e o número do **tubo loose**:

- **Número da FIBRA:** é definido pela Tabela 01

Tabela 01: numeração das fibras

Fibra	Cor - Padrão ABNT
1	Verde
2	Amarelo
3	Branco
4	Azul
5	Vermelho
6	Violeta
7	Marrom
8	Rosa
9	Preto
10	Cinza
11	Laranja
12	Aqua

- Numeração do **TUBO LOOSE**

A numeração tubo *loose* é organizado conforme a Figura 01 abaixo. A lógica segue o seguinte padrão:

1. O primeiro tubo *loose* é o verde.
2. O segundo tubo *loose* é o amarelo.
3. O terceiro tubo é o branco que estiver mais próximo do amarelo.
4. A organização da contagem sempre se dará do verde para o amarelo. Depois o branco e seguirá girando até chegar no amarelo novamente.

Figura 01. Organização e numeração do tubo loose

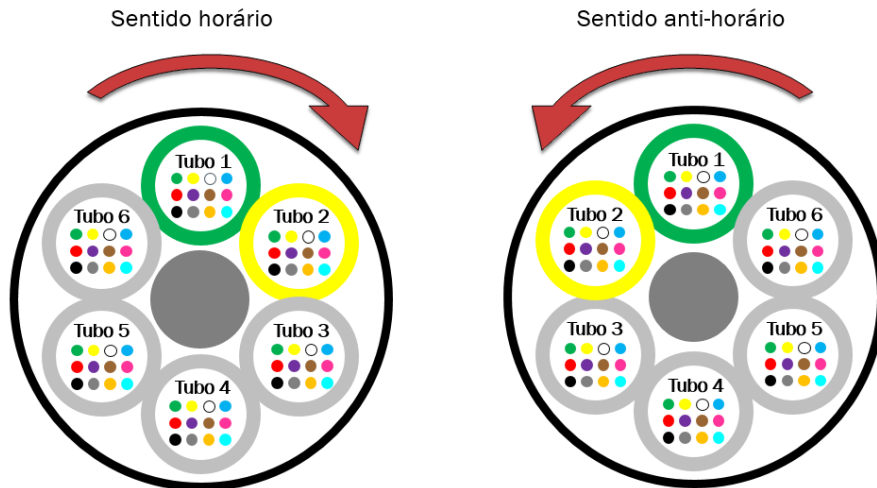
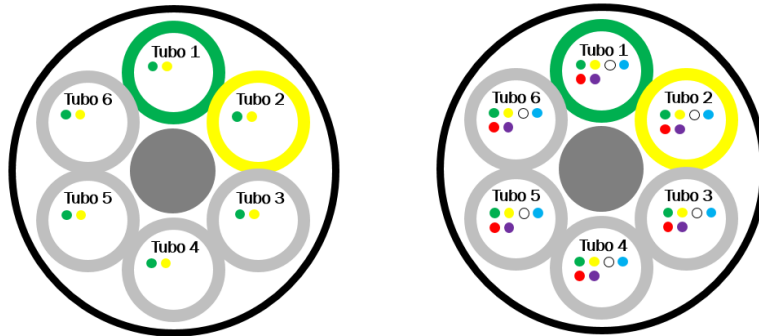


Figura 02. Organização dos tubos.

2 FO a 12 FO
2 fibras por tubo

18 FO a 36 FO
6 fibras por tubo



- Relação da fibra com o tubo loose
 - A tabela a seguir mostra como identificar a cor da fibra através do seu número e tubo *loose*.
 - Por exemplo:
 - A fibra 35 é o filamento **vermelho** do **TUBO 06**.
 - A fibra 8 é o filamento **amarelo** do **TUBO 02**.
 - A fibra 16 é o filamento **azul** do **TUBO 03**.

CABO DE 18 A 36 FO		CORES DAS FIBRAS					
CORES DOS TUBOS	T1	1	2	3	4	5	6
	T2	7	8	9	10	11	12
	T3	13	14	15	16	17	18
	T4	19	20	21	22	23	24
	T5	25	26	27	28	29	30
	T6	31	32	33	34	35	36

DA DISPOSIÇÃO DO BACKBONE

As tabelas a seguir mostram como estarão organizadas as fibras do backbone na saída da central.

BACKBONE VERMELHO DE 12FO					
F01	RAMAL 20	F05	RAMAL 16	F09	Reserva
F02	RAMAL 19	F06	RAMAL 15	F10	Reserva
F03	RAMAL 18	F07	Reserva	F11	Reserva
F04	RAMAL 17	F08	Reserva	F12	Reserva

BACKBONE ROSA DE 06FO					
F01	RAMAL 14	F03	RAMAL 12	F05	Reserva
F02	RAMAL 13	F04	Reserva	F06	Reserva

BACKBONE VERDE DE 12FO					
F01	RAMAL 22	F05	RAMAL 25	F09	Reserva
F02	RAMAL 21	F06	RAMAL 24	F10	Reserva
F03	RAMAL 23	F07	Reserva	F11	Reserva
F04	RAMAL 08	F08	Reserva	F12	Reserva

BACKBONE AZUL DE 06FO					
F01	RAMAL 11	F03	Reserva	F05	Reserva
F02	RAMAL 07	F04	Reserva	F06	Reserva

BACKBONE AMARELO DE 06FO					
F01	RAMAL 04	F03	Reserva	F05	Reserva
F02	RAMAL 03	F04	Reserva	F06	Reserva

BACKBONE CIANO DE 12FO					
F01	RAMAL 10	F05	RAMAL 06	F09	Reserva
F02	RAMAL 02	F06	RAMAL 05	F10	Reserva
F03	RAMAL 01	F07	Reserva	F11	Reserva
F04	RAMAL 09	F08	Reserva	F12	Reserva

FUSÕES

- RAMAL 01
 - CD-R01
 - F03 do cabo CIANO: Fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - Pernas de saída do *splitter* 1x8
 - Saída 01: Fusão com F01 do cabo rosa para atender a CA01-R01
 - Saída 02: Fusão com F02 do cabo rosa para atender a CA02-R01
 - Saída 03: Fusão com F01 do cabo rosa para atender a CA03-R01

- Saída 04: Fusão com **F02** do cabo **rosa** para atender a **CA04-R01**
 - Saída 05: Fusão com **F01** do cabo **vermelho** para atender a **CA05-R01**
- **CA01-R01**
 - **F01** do cabo **rosa** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **CA02-R01**
 - **F02** do cabo **rosa** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **CA03-R01**
 - **F01** do cabo **rosa** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **CA04-R01**
 - **F02** do cabo **rosa** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **CA05-R01**
 - **F01** do cabo **vermelho** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **RAMAL 02**
 - **CD-R02**
 - **F02** do cabo **CIANO**: Fusão com **entrada** do *splitter* 1x8
 - Pernas de saída do *splitter* 1x8
 - Saída 01: Fusão com **F01** do cabo **rosa** para atender a **CA01-R02**
 - Saída 02: Fusão com **F02** do cabo **rosa** para atender a **CA02-R02**
 - Saída 03: Fusão com **F01** do cabo **rosa** para atender a **CA03-R02**
 - Saída 04: Fusão com **F02** do cabo **rosa** para atender a **CA04-R02**
 - Saída 05: Fusão com **F01** do cabo **azul** para atender a **CA05-R02**
 - Saída 06: Fusão com **F02** do cabo **azul** para atender a **CA06-R02**
 - Saída 07: Fusão com **F03** do cabo **azul** para atender a **CA07-R02**
 - **CA01-R02**
 - **F01** do cabo **rosa** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - **CA02-R02**
 - **F02** do cabo **rosa** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - **CA03-R02**
 - **F01** do cabo **rosa** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - **CA04-R02**
 - **F02** do cabo **rosa** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - **CA05-R02**
 - **F01** do cabo **azul** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - **CA06-R02**
 - **F02** do cabo **azul** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - **CA07-R02**
 - **F03** do cabo **azul** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8

- **RAMAL 03**
 - **CD-R03**
 - **F02** do cabo **AMARELO**: Fusão com **entrada** do *splitter* 1x8
 - Pernas de saída do *splitter* 1x8
 - Saída 01: Fusão com **F01** do cabo **amarelo** para atender a **CA01-R03**
 - Saída 02: Fusão com **F02** do cabo **amarelo** para atender a **CA02-R03**
 - Saída 03: Fusão com **F03** do cabo **amarelo** para atender a **CA03-R03**
 - Saída 04: Fusão com **F04** do cabo **amarelo** para atender a **CA04-R03**
 - Saída 05: Fusão com **F01** do cabo **azul** para atender a **CA05-R03**
 - Saída 06: Fusão com **F02** do cabo **azul** para atender a **CA06-R03**
 - Saída 07: Fusão com **F03** do cabo **azul** para atender a **CA07-R03**
 - Saída 08: Fusão com **F01** do cabo **vermelho** para atender a **CA08-R03**
 - **CA01-R03**
 - **F01** do cabo **amarelo** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - **CA02-R03**
 - **F02** do cabo **amarelo** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - **CA03-R03**
 - **F03** do cabo **amarelo** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - **CA04-R03**
 - **F04** do cabo **amarelo** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - **CA05-R03**
 - **F01** do cabo **azul** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - **CA06-R03**
 - **F02** do cabo **azul** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - **CA07-R03**
 - **F03** do cabo **azul** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - **CA08-R03**
 - **F01** do cabo **vermelho** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **RAMAL 04**
 - **CD-R04**
 - **F01** do cabo **AMARELO**: Fusão com **entrada** do *splitter* 1x8
 - Pernas de saída do *splitter* 1x8
 - Saída 01: Fusão com **F01** do cabo **rosa** para atender a **CA01-R04**
 - Saída 02: Fusão com **F02** do cabo **rosa** para atender a **CA02-R04**
 - Saída 03: Fusão com **F01** do cabo **azul** para atender a **CA03-R04**

- Saída 04: Fusão com **F02** do cabo **azul** para atender a **CA04-R04**
 - Saída 05: Fusão com **F03** do cabo **azul** para atender a **CA05-R04**
 - Saída 06: Fusão com **F01** do cabo **azul** para atender a **CA06-R04**
 - Saída 07: Fusão com **F02** do cabo **azul** para atender a **CA07-R04**
 - Saída 08: Fusão com **F03** do cabo **azul** para atender a **CA08-R04**
- **CA01-R04**
 - **F01** do cabo **rosa** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **CA02-R04**
 - **F02** do cabo **rosa** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **CA03-R04**
 - **F01** do cabo **azul** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **CA04-R04**
 - **F02** do cabo **azul** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **CA05-R04**
 - **F03** do cabo **azul** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **CA06-R04**
 - **F01** do cabo **azul** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **CA07-R04**
 - **F02** do cabo **azul** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **CA08-R04**
 - **F03** do cabo **azul** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **RAMAL 05**
 - **CD-R05**
 - **F06** do cabo **CIANO**: Fusão com **entrada** do *splitter* 1x8
 - Pernas de saída do *splitter* 1x8
 - Saída 01: Fusão com **F01** do cabo **vermelho** para atender a **CA01-R05**
 - Saída 02: Fusão com **F01** do cabo **vermelho** para atender a **CA02-R05**
 - Saída 03: Fusão com **F01** do cabo **amarelo** para atender a **CA03-R05**
 - Saída 04: Fusão com **F02** do cabo **amarelo** para atender a **CA04-R05**
 - Saída 05: Fusão com **F03** do cabo **amarelo** para atender a **CA05-R05**
 - Saída 06: Fusão com **F04** do cabo **amarelo** para atender a **CA06-R05**
 - **CA01-R05**
 - **F01** do cabo **vermelho** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - **CA02-R05**
 - **F01** do cabo **vermelho** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - **CA03-R05**

- F01 do cabo **amarelo** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - F02 e F03 do cabo **amarelo** faz fusão com F01 e F02 do cabo **rosa**
 - F04 do cabo **amarelo** faz fusão com F01 do cabo **vermelho**
 - CA04-R05
 - F01 do cabo **rosa** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - CA05-R05
 - F02 do cabo **rosa** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - CA06-R05
 - F01 do cabo **vermelho** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- RAMAL 06
 - CD-R06
 - F05 do cabo **CIANO**: Fusão com **entrada** do *splitter* 1x8
 - Pernas de saída do *splitter* 1x8
 - Saída 01: Fusão com F01 do cabo **amarelo** para atender a CA01-R06
 - Saída 02: Fusão com F02 do cabo **amarelo** para atender a CA02-R06
 - Saída 03: Fusão com F03 do cabo **amarelo** para atender a CA03-R06
 - Saída 04: Fusão com F04 do cabo **amarelo** para atender a CA04-R06
 - Saída 05: Fusão com F01 do cabo **amarelo** para atender a CA05-R06
 - Saída 06: Fusão com F02 do cabo **amarelo** para atender a CA06-R06
 - Saída 07: Fusão com F03 do cabo **amarelo** para atender a CA07-R06
 - Saída 08: Fusão com F04 do cabo **amarelo** para atender a CA08-R06
 - CA01-R06
 - F01 do cabo **amarelo** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - CA02-R06
 - F02 do cabo **amarelo** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - CA03-R06
 - F03 do cabo **amarelo** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - CA04-R06
 - F04 do cabo **amarelo** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - CA05-R06
 - F01 do cabo **amarelo** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - CA06-R06
 - F02 do cabo **amarelo** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - CA07-R06
 - F03 do cabo **amarelo** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - CA08-R06
 - F04 do cabo **amarelo** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8

- **RAMAL 07**
 - **CD-R07**
 - **F02** do cabo **AZUL**: Fusão com **entrada** do *splitter* 1x8
 - Pernas de saída do *splitter* 1x8
 - Saída 01: Fusão com **F01** do cabo **vermelho** para atender a **CA01-R07**
 - Saída 02: Fusão com **F01** do cabo **vermelho** para atender a **CA02-R07**
 - Saída 03: Fusão com **F01** do cabo **verde** para atender a **CA03-R07**
 - Saída 04: Fusão com **F02** do cabo **verde** para atender a **CA04-R07**
 - Saída 05: Fusão com **F03** do cabo **verde** para atender a **CA05-R07**
 - Saída 06: Fusão com **F04** do cabo **verde** para atender a **CA06-R07**
 - Saída 07: Fusão com **F05** do cabo **verde** para atender a **CA07-R07**
 - Saída 08: Fusão com **F06** do cabo **verde** para atender a **CA08-R07**
 - **CA01-R07**
 - **F01** do cabo **vermelho** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - **CA02-R07**
 - **F01** do cabo **vermelho** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - **CA03-R07**
 - **F01** do cabo **verde** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - **F02** do cabo **verde** faz fusão com **F01** do cabo **vermelho**
 - **F03, F04, F05, F06** do cabo **verde** fazem fusão, respectivamente, com **F01, F02, F03, F04** do cabo **amarelo**
 - **CA04-R07**
 - **F01** do cabo **vermelho** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - **CA05-R07**
 - **F01** do cabo **amarelo** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - **CA06-R07**
 - **F02** do cabo **amarelo** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - **F03** do cabo **amarelo** faz fusão com **F01** do cabo **vermelho**
 - **F04** do cabo **amarelo** faz fusão com **F01** do cabo **vermelho**
 - **CA07-R07**
 - **F01** do cabo **vermelho** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - **CA08-R07**
 - **F01** do cabo **vermelho** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **RAMAL 08**
 - **CD-R08**
 - **F04** do cabo **VERDE**: Fusão com **entrada** do *splitter* 1x8
 - Pernas de saída do *splitter* 1x8
 - Saída 01: Fusão com **F01** do cabo **amarelo** para atender a **CA01-R08**

- Saída 02: Fusão com **F02** do cabo **amarelo** para atender a **CA02-R08**
 - Saída 03: Fusão com **F03** do cabo **amarelo** para atender a **CA03-R08**
 - Saída 04: Fusão com **F04** do cabo **amarelo** para atender a **CA04-R08**
 - Saída 05: Fusão com **F01** do cabo **vermelho** para atender a **CA05-R08**
 - Saída 06: Fusão com **F01** do cabo **azul** para atender a **CA06-R08**
 - Saída 07: Fusão com **F02** do cabo **azul** para atender a **CA07-R08**
 - Saída 08: Fusão com **F03** do cabo **azul** para atender a **CA08-R08**
- **CA01-R08**
 - **F01** do cabo **amarelo** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - **F02** do cabo **amarelo** faz fusão com **F01** do cabo **vermelho**
 - **F03** e **F04**, do cabo **amarelo** fazem fusão, respectivamente, com **F01** e **F02** do cabo **rosa**
- **CA02-R08**
 - **F01** do cabo **vermelho** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **CA03-R08**
 - **F01** do cabo **rosa** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **CA04-R08**
 - **F02** do cabo **rosa** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **CA05-R08**
 - **F01** do cabo **vermelho** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **CA06-R08**
 - **F01** do cabo **azul** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - **F02** do cabo **azul** faz fusão com **F01** do cabo **vermelho**
 - **F03** do cabo **azul** faz fusão com **F01** do cabo **vermelho**
- **CA07-R08**
 - **F01** do cabo **vermelho** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **CA08-R08**
 - **F01** do cabo **vermelho** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **RAMAL 09**
 - **CD-R09**
 - **F04** do cabo **CIANO**: Fusão com **entrada** do *splitter* 1x8
 - Pernas de saída do *splitter* 1x8
 - Saída 01: Fusão com **F01** do cabo **amarelo** para atender a **CA01-R09**
 - Saída 02: Fusão com **F02** do cabo **amarelo** para atender a **CA02-R09**
 - Saída 03: Fusão com **F03** do cabo **amarelo** para atender a **CA03-R09**
 - Saída 04: Fusão com **F04** do cabo **amarelo** para atender a **CA04-R09**

- Saída 05: Fusão com **F01** do cabo **amarelo** para atender a **CA05-R09**
 - Saída 06: Fusão com **F02** do cabo **amarelo** para atender a **CA06-R09**
 - Saída 07: Fusão com **F03** do cabo **amarelo** para atender a **CA07-R09**
 - Saída 08: Fusão com **F04** do cabo **amarelo** para atender a **CA08-R09**
- **CA01-R09**
 - **F01** do cabo **amarelo** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - **F02** do cabo **amarelo** faz fusão com **F01** do cabo **vermelho**
 - **F03** e **F04** do cabo **amarelo** fazem fusão, respectivamente, com **F01** e **F02** do cabo **rosa**
- **CA02-R09**
 - **F01** do cabo **vermelho** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **CA03-R09**
 - **F01** do cabo **rosa** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **CA04-R09**
 - **F02** do cabo **rosa** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **CA05-R09**
 - **F01** do cabo **amarelo** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **CA06-R09**
 - **F02** do cabo **amarelo** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **CA07-R09**
 - **F03** do cabo **amarelo** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **CA08-R09**
 - **F04** do cabo **amarelo** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **RAMAL 10**
 - **CD-R10**
 - **F01** do cabo **CIANO**: Fusão com **entrada** do *splitter* 1x8
 - Pernas de saída do *splitter* 1x8
 - Saída 01: Fusão com **F01** do cabo **azul** para atender a **CA01-R10**
 - Saída 02: Fusão com **F02** do cabo **azul** para atender a **CA02-R10**
 - Saída 03: Fusão com **F03** do cabo **azul** para atender a **CA03-R10**
 - Saída 04: Fusão com **F01** do cabo **vermelho** para atender a **CA04-R10**
 - Saída 05: Fusão com **F01** do cabo **amarelo** para atender a **CA05-R10**
 - Saída 06: Fusão com **F02** do cabo **amarelo** para atender a **CA06-R10**
 - Saída 07: Fusão com **F03** do cabo **amarelo** para atender a **CA07-R10**
 - Saída 08: Fusão com **F04** do cabo **amarelo** para atender a **CA08-R10**

- **CA01-R10**
 - **F01** do cabo **azul** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - **F02** do cabo **azul** faz fusão com **F01** do cabo **vermelho**
 - **F03** do cabo **azul** faz fusão com **F01** do cabo **vermelho**
- **CA02-R10**
 - **F01** do cabo **vermelho** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **CA03-R10**
 - **F01** do cabo **vermelho** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **CA04-R10**
 - **F01** do cabo **vermelho** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **CA05-R10**
 - **F012** do cabo **amarelo** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **CA06-R10**
 - **F0** do cabo **amarelo** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **CA07-R10**
 - **F03** do cabo **amarelo** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **CA08-R10**
 - **F04** do cabo **amarelo** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **RAMAL 11**
 - **CD-R11**
 - **F01** do cabo **AZUL**: Fusão com **entrada** do *splitter* 1x8
 - Pernas de saída do *splitter* 1x8
 - Saída 01: Fusão com **F01** do cabo **rosa** para atender a **CA01-R11**
 - Saída 02: Fusão com **F02** do cabo **rosa** para atender a **CA02-R11**
 - Saída 03: Fusão com **F01** do cabo **rosa** para atender a **CA03-R11**
 - Saída 04: Fusão com **F02** do cabo **rosa** para atender a **CA04-R11**
 - Saída 05: Fusão com **F01** do cabo **amarelo** para atender a **CA05-R11**
 - Saída 06: Fusão com **F02** do cabo **amarelo** para atender a **CA06-R11**
 - Saída 07: Fusão com **F03** do cabo **amarelo** para atender a **CA07-R11**
 - Saída 08: Fusão com **F04** do cabo **amarelo** para atender a **CA08-R11**
 - **CA01-R11**
 - **F01** do cabo **rosa** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - **CA02-R11**
 - **F02** do cabo **rosa** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - **CA03-R11**
 - **F01** do cabo **rosa** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - **CA04-R11**
 - **F02** do cabo **rosa** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - **CA05-R11**

- F01 do cabo **amarelo** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - CA06-R11
 - F02 do cabo **amarelo** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - CA07-R11
 - F03 do cabo **amarelo** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - CA08-R11
 - F04 do cabo **amarelo** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- RAMAL 12
 - CD-R12
 - F03 do cabo **ROSA**: Fusão com **entrada** do *splitter* 1x8
 - Pernas de saída do *splitter* 1x8
 - Saída 01: Fusão com F01 do cabo **vermelho** para atender a CA01-R12
 - Saída 02: Fusão com F01 do cabo **azul** para atender a CA02-R12
 - Saída 03: Fusão com F02 do cabo **azul** para atender a CA03-R12
 - Saída 04: Fusão com F03 do cabo **azul** para atender a CA04-R12
 - Saída 05: Fusão com F01 do cabo **azul** para atender a CA05-R12
 - Saída 06: Fusão com F02 do cabo **azul** para atender a CA06-R12
 - Saída 07: Fusão com F03 do cabo **azul** para atender a CA07-R12
 - CA01-R12
 - F01 do cabo **vermelho** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - CA02-R12
 - F01 do cabo **azul** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - CA03-R12
 - F02 do cabo **azul** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - CA04-R12
 - F03 do cabo **azul** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - CA05-R12
 - F01 do cabo **azul** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - CA06-R12
 - F02 do cabo **azul** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - CA07-R12
 - F03 do cabo **azul** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- RAMAL 13
 - CD-R13
 - F02 do cabo **ROSA**: Fusão com **entrada** do *splitter* 1x8
 - Pernas de saída do *splitter* 1x8
 - Saída 01: Fusão com F01 do cabo **amarelo** para atender a CA01-R13

- Saída 02: Fusão com **F02** do cabo **amarelo** para atender a **CA02-R13**
 - Saída 03: Fusão com **F03** do cabo **amarelo** para atender a **CA03-R13**
 - Saída 04: Fusão com **F04** do cabo **amarelo** para atender a **CA04-R13**
 - Saída 05: Fusão com **F01** do cabo **amarelo** para atender a **CA05-R13**
 - Saída 06: Fusão com **F02** do cabo **amarelo** para atender a **CA06-R13**
 - Saída 07: Fusão com **F03** do cabo **amarelo** para atender a **CA07-R13**
 - Saída 08: Fusão com **F04** do cabo **amarelo** para atender a **CA08-R13**
- **CA01-R13**
 - **F01** do cabo **amarelo** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - **F02** do cabo **amarelo** faz fusão com **F01** do cabo **vermelho**
 - **F03** e **F04** do cabo **amarelo** fazem fusão, respectivamente, com **F01** e **F02** do cabo **rosa**
- **CA02-R13**
 - **F01** do cabo **vermelho** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **CA03-R13**
 - **F01** do cabo **rosa** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **CA04-R13**
 - **F02** do cabo **rosa** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **CA05-R13**
 - **F01** do cabo **amarelo** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - **F02** do cabo **amarelo** faz fusão com **F01** do cabo **vermelho**
 - **F03** e **F04** do cabo **amarelo** fazem fusão, respectivamente, com **F01** e **F02** do cabo **rosa**
- **CA06-R13**
 - **F01** do cabo **vermelho** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **MINICEO-R13**
 - **F01** do cabo **rosa** faz fusão com **F01** do cabo **vermelho**
 - **F02** do cabo **rosa** faz fusão com **F01** do cabo **vermelho**
- **CA07-R13**
 - **F01** do cabo **vermelho** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **CA08-R13**
 - **F01** do cabo **vermelho** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **RAMAL 14**
 - **CD-R14**
 - **F01** do cabo **ROSA**: Fusão com **entrada** do *splitter* 1x8
 - Pernas de saída do *splitter* 1x8
 - Saída 01: Fusão com **F01** do cabo **azul** para atender a **CA01-R14**
 - Saída 02: Fusão com **F02** do cabo **azul** para atender a **CA02-R14**

- Saída 03: Fusão com **F03** do cabo **azul** para atender a **CA03-R14**
 - Saída 04: Fusão com **F01** do cabo **azul** para atender a **CA04-R14**
 - Saída 05: Fusão com **F02** do cabo **azul** para atender a **CA05-R14**
 - Saída 06: Fusão com **F03** do cabo **azul** para atender a **CA06-R14**
 - Saída 07: Fusão com **F01** do cabo **rosa** para atender a **CA07-R14**
 - Saída 08: Fusão com **F02** do cabo **rosa** para atender a **CA08-R14**
- **CA01-R14**
 - **F01** do cabo **azul** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **CA02-R14**
 - **F02** do cabo **azul** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **CA03-R14**
 - **F03** do cabo **azul** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **CA04-R14**
 - **F01** do cabo **azul** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **CA05-R14**
 - **F02** do cabo **azul** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **CA06-R14**
 - **F03** do cabo **azul** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **CA07-R14**
 - **F01** do cabo **rosa** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **CA08-R14**
 - **F02** do cabo **rosa** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **RAMAL 15**
 - **CD-R15**
 - **F06** do cabo **VERMELHO**: Fusão com **entrada** do *splitter* 1x8
 - Pernas de saída do *splitter* 1x8
 - Saída 01: Fusão com **F01** do cabo **amarelo** para atender a **CA01-R15**
 - Saída 02: Fusão com **F02** do cabo **amarelo** para atender a **CA02-R15**
 - Saída 03: Fusão com **F03** do cabo **amarelo** para atender a **CA03-R15**
 - Saída 04: Fusão com **F04** do cabo **amarelo** para atender a **CA04-R15**
 - Saída 05: Fusão com **F01** do cabo **rosa** para atender a **CA05-R15**
 - Saída 06: Fusão com **F02** do cabo **rosa** para atender a **CA06-R15**
 - Saída 07: Fusão com **F01** do cabo **rosa** para atender a **CA07-R15**

- Saída 08: Fusão com **F02** do cabo **rosa** para atender a **CA08-R15**
 - **CA01-R15**
 - **F01** do cabo **amarelo** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - **F02** do cabo **amarelo** faz fusão com **F01** do cabo **vermelho**
 - **F03** e **F04** do cabo **amarelo** fazem fusão, respectivamente, com **F01** e **F02** do cabo **rosa**
 - **CA02-R15**
 - **F01** do cabo **vermelho** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - **CA03-R15**
 - **F01** do cabo **rosa** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - **CA04-R15**
 - **F02** do cabo **rosa** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - **CA05-R15**
 - **F01** do cabo **rosa** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - **CA06-R15**
 - **F02** do cabo **rosa** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - **CA07-R15**
 - **F01** do cabo **rosa** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - **CA08-R15**
 - **F02** do cabo **rosa** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **RAMAL 16**
 - **CD-R16**
 - **F05** do cabo **VERMELHO** faz fusão com **entrada** do *splitter* 1x8
 - Pernas de saída do *splitter* 1x8
 - Saída 01: Fusão com **F01** do cabo **rosa** para atender a **CA01-R16**
 - Saída 02: Fusão com **F02** do cabo **rosa** para atender a **CA02-R16**
 - Saída 03: Fusão com **F01** do cabo **rosa** para atender a **CA03-R16**
 - Saída 04: Fusão com **F02** do cabo **rosa** para atender a **CA04-R16**
 - Saída 05: Fusão com **F01** do cabo **amarelo** para atender a **CA05-R16**
 - Saída 06: Fusão com **F02** do cabo **amarelo** para atender a **CA06-R16**
 - Saída 07: Fusão com **F03** do cabo **amarelo** para atender a **CA07-R16**
 - Saída 08: Fusão com **F04** do cabo **amarelo** para atender a **CA08-R16**
 - **CA01-R16**
 - **F01** do cabo **rosa** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - **CA02-R16**
 - **F02** do cabo **rosa** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - **CA03-R16**
 - **F01** do cabo **rosa** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8

- CA04-R16
 - F02 do cabo **rosa** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- CA05-R16
 - F01 do cabo **amarelo** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - F02 do cabo **amarelo** faz fusão com F01 do cabo **vermelho**
 - F03 e F04 do cabo **amarelo** fazem fusão, respectivamente, com F01 e F02 do cabo **rosa**
- CA06-R16
 - F01 do cabo **vermelho** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- CA07-R16
 - F01 do cabo **rosa** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- CA08-R16
 - F02 do cabo **rosa** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- RAMAL 17
 - CA01-R17 10/90
 - F02 do cabo **rosa** faz fusão com entrada do *splitter* 1x2 com balanceamento de 10/90
 - Perna de saída 10%: Fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - Perna de saída 90%: Fusão com F01 do cabo **rosa**
 - CA02- R17 10/90
 - F01 do cabo **rosa** faz fusão com entrada do *splitter* 1x2 com balanceamento de 10/90
 - Perna de saída 10%: Fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - Perna de saída 90%: Fusão com F01 do cabo **rosa**
 - CA03- R17 10/90
 - F01 do cabo **rosa** faz fusão com entrada do *splitter* 1x2 com balanceamento de 10/90
 - Perna de saída 10%: Fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - Perna de saída 90%: Fusão com F01 do cabo **rosa**
 - CA04- R17 20/80
 - F01 do cabo **rosa** faz fusão com entrada do *splitter* 1x2 com balanceamento de 20/80
 - Perna de saída 20%: Fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - Perna de saída 80%: Fusão com F01 do cabo **rosa**
 - CA05- R17 20/80
 - F01 do cabo **rosa** faz fusão com entrada do *splitter* 1x2 com balanceamento de 20/80
 - Perna de saída 20%: Fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - Perna de saída 80%: Fusão com F01 do cabo **rosa**
 - CA06- R17 30/70
 - F01 do cabo **rosa** faz fusão com entrada do *splitter* 1x2 com balanceamento de 30/70

- **Perna de saída 30%:** Fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - **Perna de saída 70%:** Fusão com **F01** do cabo **rosa**
 - **CA07- R17 50/50**
 - **F01** do cabo **rosa** faz fusão com entrada do *splitter* 1x2 com balanceamento de 50/50
 - **Perna de saída 50%:** Fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - **Perna de saída 50%:** Fusão com **F01** do cabo **rosa**
 - **CA08- R17**
 - **F01** do cabo **rosa** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **RAMAL 18**
 - **CD-R18**
 - **F03** do cabo **VERMELHO** faz fusão com **entrada** do *splitter* 1x8
 - **F04** do cabo **VERMELHO** faz fusão com **F01** do cabo **AMARELO**
 - **F05** do cabo **VERMELHO** faz fusão com **F02** do cabo **AMARELO**
 - **F06** do cabo **VERMELHO** faz fusão com **F03** do cabo **AMARELO**
 - Pernas de saída do *splitter* 1x8
 - Saída 01: Fusão com **F01** do cabo **rosa** para atender a **CA01-R18**
 - Saída 02: Fusão com **F02** do cabo **rosa** para atender a **CA02-R18**
 - Saída 03: Fusão com **F01** do cabo **azul** para atender a **CA03-R18**
 - Saída 04: Fusão com **F02** do cabo **azul** para atender a **CA04-R18**
 - Saída 05: Fusão com **F03** do cabo **azul** para atender a **CA05-R18**
 - Saída 06: Fusão com **F01** do cabo **azul** para atender a **CA06-R18**
 - Saída 07: Fusão com **F02** do cabo **azul** para atender a **CA07-R18**
 - Saída 08: Fusão com **F03** do cabo **azul** para atender a **CA08-R18**
 - **CA01-R18**
 - **F01** do cabo **rosa** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - **CA02-R18**
 - **F02** do cabo **rosa** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - **CA03-R18**
 - **F01** do cabo **azul** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - **CA04-R18**
 - **F02** do cabo **azul** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - **CA05-R18**

- F03 do cabo azul faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - CA06-R18
 - F01 do cabo azul faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - CA07-R18
 - F02 do cabo azul faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - CA08-R18
 - F03 do cabo azul faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- RAMAL 19
 - CD-R19
 - F02 do cabo VERMELHO faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - Pernas de saída do *splitter* 1x8
 - Saída 01: Fusão com F01 do cabo rosa para atender a CA01-R19
 - Saída 02: Fusão com F02 do cabo rosa para atender a CA02-R19
 - Saída 03: Fusão com F01 do cabo azul para atender a CA03-R19
 - Saída 04: Fusão com F02 do cabo azul para atender a CA04-R19
 - Saída 05: Fusão com F03 do cabo azul para atender a CA05-R19
 - Saída 06: Fusão com F01 do cabo azul para atender a CA06-R19
 - Saída 07: Fusão com F02 do cabo azul para atender a CA07-R19
 - Saída 08: Fusão com F03 do cabo azul para atender a CA08-R19
 - CA01-R19
 - F01 do cabo rosa faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - CA02-R19
 - F02 do cabo rosa faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - CA03-R19
 - F01 do cabo azul faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - CA04-R19
 - F02 do cabo azul faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - CA05-R19
 - F03 do cabo azul faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - CA06-R19
 - F01 do cabo azul faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - CA07-R19
 - F02 do cabo azul faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - CA08-R19
 - F03 do cabo azul faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- RAMAL 20
 - CD-R20

- **F01** do cabo **VERMELHO** faz fusão com **entrada** do *splitter* 1x8
 - **F02** do cabo **VERMELHO** faz fusão com **F01** do cabo **AMARELO**
 - Pernas de saída do *splitter* 1x8
 - Saída 01: Fusão com **F01** do cabo **vermelho** para atender a **CA01-R20**
 - Saída 02: Fusão com **F01** do cabo **rosa** para atender a **CA02-R20**
 - Saída 03: Fusão com **F02** do cabo **rosa** para atender a **CA03-R20**
 - Saída 04: Fusão com **F01** do cabo **rosa** para atender a **CA04-R20**
 - Saída 05: Fusão com **F02** do cabo **rosa** para atender a **CA05-R20**
 - Saída 06: Fusão com **F01** do cabo **azul** para atender a **CA06-R20**
 - Saída 07: Fusão com **F02** do cabo **azul** para atender a **CA07-R20**
 - Saída 08: Fusão com **F03** do cabo **azul** para atender a **CA08-R20**
- **CA01-R20**
 - **F01** do cabo **vermelho** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **CA02-R20**
 - **F01** do cabo **rosa** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **CA03-R20**
 - **F02** do cabo **rosa** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **CA04-R20**
 - **F01** do cabo **rosa** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **CA05-R20**
 - **F02** do cabo **rosa** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **CA06-R20**
 - **F01** do cabo **azul** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - **F02** do cabo **azul** faz fusão com **F01** do cabo **vermelho**
 - **F03** do cabo **azul** faz fusão com **F01** do cabo **vermelho**
- **CA07-R20**
 - **F01** do cabo **vermelho** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **CA08-R20**
 - **F01** do cabo **vermelho** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **RAMAL 21**
 - **CD-R21**
 - **F02** do cabo **VERDE** faz fusão com **entrada** do *splitter* 1x8
 - Pernas de saída do *splitter* 1x8
 - Saída 01: Fusão com **F01** do cabo **azul** para atender a **CA01-R21**
 - Saída 02: Fusão com **F02** do cabo **azul** para atender a **CA02-R21**

- Saída 03: Fusão com **F03** do cabo **azul** para atender a **CA03-R21**
 - Saída 04: Fusão com **F01** do cabo **amarelo** para atender a **CA04-R21**
 - Saída 05: Fusão com **F02** do cabo **amarelo** para atender a **CA05-R21**
 - Saída 06: Fusão com **F03** do cabo **amarelo** para atender a **CA06-R21**
 - Saída 07: Fusão com **F04** do cabo **amarelo** para atender a **CA07-R21**
- **CA01-R21**
 - **F01** do cabo **azul** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **CA02-R21**
 - **F02** do cabo **azul** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **CA03-R21**
 - **F03** do cabo **azul** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **CA04-R21**
 - **F01** do cabo **amarelo** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **CA05-R21**
 - **F02** do cabo **amarelo** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **CA06-R21**
 - **F03** do cabo **amarelo** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **CA07-R21**
 - **F04** do cabo **amarelo** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **RAMAL 22**
 - **CD-R22**
 - **F01** do cabo **VERDE** faz fusão com **entrada** do *splitter* 1x8
 - **F02** do cabo **VERDE** faz fusão com **F01** do cabo **MARROM**
 - **F03** do cabo **VERDE** faz fusão com **F02** do cabo **MARROM**
 - **F04** do cabo **VERDE** faz fusão com **F01** do cabo **AMARELO**
 - **F05** do cabo **VERDE** faz fusão com **F02** do cabo **AMARELO**
 - **F06** do cabo **VERDE** faz fusão com **F03** do cabo **AMARELO**
 - Pernas de saída do *splitter* 1x8
 - Saída 01: Fusão com **F01** do cabo **vermelho** para atender a **CA01-R22**
 - Saída 02: Fusão com **F01** do cabo **rosa** para atender a **CA02-R22**
 - Saída 03: Fusão com **F02** do cabo **rosa** para atender a **CA03-R22**
 - Saída 04: Fusão com **F01** do cabo **marrom** para atender a **CA04-R22**
 - Saída 05: Fusão com **F02** do cabo **marrom** para atender a **CA05-R22**
 - Saída 06: Fusão com **F03** do cabo **marrom** para atender a **CA06-R22**
 - Saída 07: Fusão com **F04** do cabo **marrom** para atender a **CA07-R22**

- Saída 08: Fusão com **F05** do cabo **marrom** para atender a **CA08-R22**
- **CA01-R22**
 - **F01** do cabo **vermelho** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **CA02-R22**
 - **F01** do cabo **rosa** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **CA03-R22**
 - **F02** do cabo **rosa** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **CA04-R22**
 - **F01** do cabo **marrom** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **CA05-R22**
 - **F02** do cabo **marrom** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - **F03** e **F04** do cabo **marrom** fazem fusão, respectivamente, com **F01** e **F02** do cabo **rosa**
 - **F05** do cabo **marrom** faz fusão com **F01** do cabo **vermelho**
- **CA06-R22**
 - **F01** do cabo **rosa** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **CA07-R22**
 - **F02** do cabo **rosa** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **CA08-R22**
 - **F01** do cabo **vermelho** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **RAMAL 23**
 - **CD-R23**
 - **F03** do cabo **VERDE** faz fusão com **entrada** do *splitter* 1x8
 - Pernas de saída do *splitter* 1x8
 - Saída 01: Fusão com **F01** do cabo **rosa** para atender a **CA01-R23**
 - Saída 02: Fusão com **F02** do cabo **rosa** para atender a **CA02-R23**
 - Saída 03: Fusão com **F01** do cabo **vermelho** para atender a **CA03-R23**
 - Saída 04: Fusão com **F01** do cabo **amarelo** para atender a **CA04-R23**
 - Saída 05: Fusão com **F02** do cabo **amarelo** para atender a **CA05-R23**
 - Saída 06: Fusão com **F03** do cabo **amarelo** para atender a **CA06-R23**
 - Saída 07: Fusão com **F04** do cabo **amarelo** para atender a **CA07-R23**
- **CA01-R23**
 - **F01** do cabo **rosa** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **CA02-R23**
 - **F02** do cabo **rosa** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **CA03-R23**
 - **F01** do cabo **vermelho** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **CA04-R23**

- F01 do cabo **amarelo** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - F02 do cabo **amarelo** faz fusão com F01 do cabo **vermelho**
 - F03 e F04 do cabo **amarelo** fazem fusão, respectivamente, com F01 e F02 do cabo **rosa**
 - CA05-R23
 - F01 do cabo **vermelho** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - CA06-R23
 - F01 do cabo **rosa** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - CA07-R23
 - F02 do cabo **rosa** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- RAMAL 24
 - CD-R24
 - F06 do cabo **VERDE** faz fusão com **entrada** do *splitter* 1x8
 - Pernas de saída do *splitter* 1x8
 - Saída 01: Fusão com F01 do cabo **vermelho** para atender a CA01-R24
 - Saída 02: Fusão com F01 do cabo **amarelo** para atender a CA02-R24
 - Saída 03: Fusão com F02 do cabo **amarelo** para atender a CA03-R24
 - Saída 04: Fusão com F03 do cabo **amarelo** para atender a CA04-R24
 - Saída 05: Fusão com F04 do cabo **amarelo** para atender a CA05-R24
 - Saída 06: Fusão com F01 do cabo **azul** para atender a CA06-R24
 - Saída 07: Fusão com F02 do cabo **azul** para atender a CA07-R24
 - Saída 08: Fusão com F03 do cabo **azul** para atender a CA08-R24
 - CA01-R24
 - F01 do cabo **vermelho** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - CA02-R24
 - F01 do cabo **amarelo** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - CA03-R24
 - F02 do cabo **amarelo** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - CA04-R24
 - F03 do cabo **amarelo** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - CA05-R24
 - F04 do cabo **amarelo** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - CA06-R24
 - F01 do cabo **azul** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - CA07-R24
 - F02 do cabo **azul** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
 - CA08-R24
 - F03 do cabo **azul** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- RAMAL 25

- **CD-R25**
 - **F05** do cabo **VERDE** faz fusão com **entrada** do *splitter* 1x8
 - Pernas de saída do *splitter* 1x8
 - Saída 01: Fusão com **F01** do cabo **rosa** para atender a **CA01-R25**
 - Saída 02: Fusão com **F02** do cabo **rosa** para atender a **CA02-R25**
 - Saída 03: Fusão com **F02** do cabo **azul** para atender a **CA03-R25**
 - Saída 04: Fusão com **F03** do cabo **azul** para atender a **CA04-R25**
 - Saída 05: Fusão com **F04** do cabo **azul** para atender a **CA05-R25**
- **CA01-R25**
 - **F01** do cabo **rosa** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **CA02-R25**
 - **F02** do cabo **rosa** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **CA03-R25**
 - **F01** do cabo **azul** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **CA04-R25**
 - **F02** do cabo **azul** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **CA05-R25**
 - **F03** do cabo **azul** faz fusão com entrada do *splitter* 1x8
- **MINI-CEO**
 - **F01** do cabo **CIANO** faz fusão com **F01** do cabo **AMARELO**
 - **F02** do cabo **CIANO** faz fusão com **F02** do cabo **AMARELO**
 - **F03** do cabo **CIANO** faz fusão com **F03** do cabo **AMARELO**
 - **F04** do cabo **CIANO** faz fusão com **F01** do cabo **VERMELHO**
 - **F05** do cabo **CIANO** faz fusão com **F02** do cabo **VERMELHO**
 - **F06** do cabo **CIANO** faz fusão com **F03** do cabo **VERMELHO**

APÊNDICE B – LISTA DE MATERIAIS DE CADA PROJETO

Lista de materiais projeto FTTh

Descrição	Quantidade	Unidade
Caixa de emenda (CEO)	24	Unidade
Mini-CEO	1	Unidade
Caixa de atendimento (CTO)	200	Unidade
OLT de 6 slots	1	Unidade
Placa GPON de 8 portas	4	Unidade
25 SFP Mini GBIC classe C+	25	Unidade
Mikrotik CCR1009-7G-1C-1S	2	Unidade
Distribuidor Interno Óptico 36F SC/APC	1	Unidade
Rack fechado de solo 38U	1	Unidade
Splitter Conectorizados 1x8	200	Unidade
Splitter Não-conectorizado	30	Unidade
CFOA-SM-AS80-24F-NR	140	Metros
CFOA-SM-AS80-12F-NR	720	Metros
CFOA-SM-AS80-8F-NR	2590	Metros
CFOA-SM-AS80-6F-NR	9779	Metros
CFOA-SM-AS80-4F-NR	8615	Metros

Lista de materiais projeto elétrico

Descrição	Quantidade	Unidade
Disjuntor Monopolar 4A	3	Unidade
Disjuntor Monopolar 6A	4	Unidade
Disjuntor Monopolar 10A	1	Unidade
Disjuntor Monopolar 25A	1	Unidade
Cabo flexível preto 1,5mm ² 750V	50	Metros
Cabo flexível preto 2,5mm ² 750V	200	Metros
Cabo flexível azul 1,5mm ² 750V	50	Metros
Cabo flexível azul 2,5mm ² 750V	200	Metros
Cabo flexível verde 1,5mm ² 750V	50	Metros
Cabo flexível verde 2,5mm ² 750V	200	Metros
Cabo flexível preto 4mm ² 750V	10	Metros
Cabo flexível azul 4mm ² 750V	10	Metros
Cabo flexível verde 4mm ² 750V	10	Metros
Eletroduto flexível 1"	60	Metros
Eletroduto flexível 3/4"	30	Metros
Barramento de neutro	1	Unidade
Barramento de terra	1	Unidade
Caixa de passagem	40	Unidade

Lista de materiais projeto fotovoltaico

Descrição	Quantidade	Unidade
Painél Fotovoltaico Canadian 330W	18	Unidade
Inversor de 5kW SolarEdge	1	Unidade
Optimizador de potência SolarEdge P700	9	Unidade

ANEXO A – DATASHEET DO PAINEL SOLAR



MAXPOWER CS6U-325 | 330 | 335P

Canadian Solar's modules use the latest innovative cell technology, increasing module power output and system reliability, ensured by 17 years of experience in module manufacturing, well-engineered module design, stringent BOM quality testing, an automated manufacturing process and 100% EL testing.

KEY FEATURES



Excellent module efficiency of up to: 17.23 %



High PTC rating of up to: 92.18 %



IP68 junction box for long-term weather endurance



Heavy snow load up to 5400 Pa, wind load up to 3600 Pa*



linear power output warranty



product warranty on materials and workmanship

MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATES*

ISO 9001:2015 / Quality management system

ISO 14001:2015 / Standards for environmental management system

OHSAS 18001:2007 / International standards for occupational health & safety

PRODUCT CERTIFICATES*

IEC 61215 / IEC 61730: VDE / CE / MCS / INMETRO / CEC AU / KEMCO / SII

UL 1703 / IEC 61215 performance: CEC listed (US) / FSEC (US Florida)

UL 1703: CSA / IEC 61701 ED2: VDE / IEC 62716: VDE

UNI 9177 Reaction to Fire: Class 1 / IEC 60068-2-68: SG5

Take-e-way



* We can provide this product with special BOM specifically certified with salt mist, ammonia and sand blowing tests. Please talk to our local technical sales representatives to get your customized solutions.

CANADIAN SOLAR INC. is committed to providing high quality solar products, solar system solutions and services to customers around the world. No. 1 module supplier for quality and performance/price ratio in IHS Module Customer Insight Survey. As a leading PV project developer and manufacturer of solar modules with over 30 GW deployed around the world since 2001.

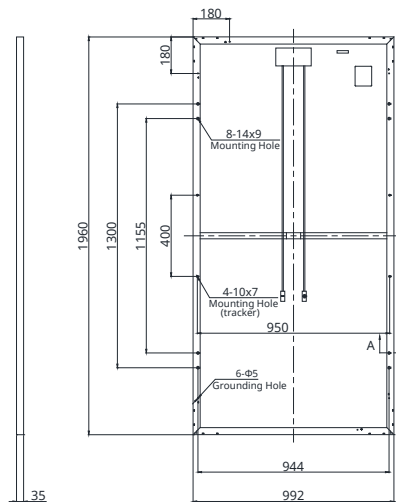
*For detail information, please refer to Installation Manual.

CANADIAN SOLAR INC.

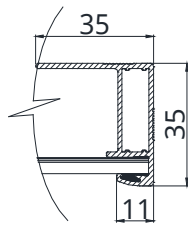
545 Speedvale Avenue West, Guelph, Ontario N1K 1E6, Canada, www.canadiansolar.com, support@canadiansolar.com

ENGINEERING DRAWING (mm)

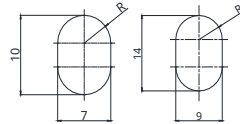
Rear View



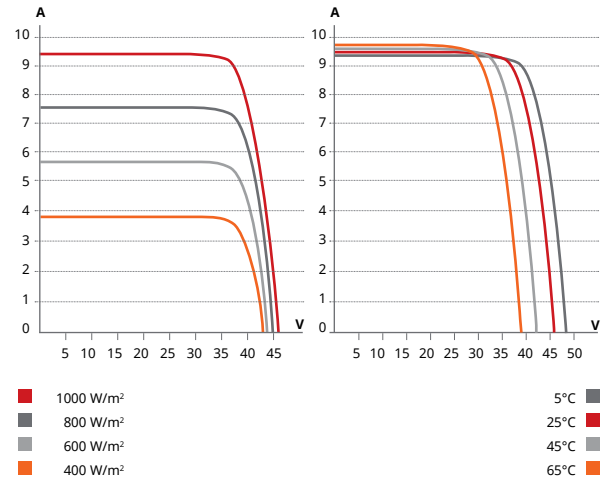
Frame Cross Section A-A



Mounting Hole



CS6U-330P / I-V CURVES



ELECTRICAL DATA | STC*

CS6U	325P	330P	335P
Nominal Max. Power (Pmax)	325 W	330 W	335 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	37.0 V	37.2 V	37.4 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.78 A	8.88 A	8.96 A
Open Circuit Voltage (Voc)	45.5 V	45.6 V	45.8 V
Short Circuit Current (Isc)	9.34 A	9.45 A	9.54 A
Module Efficiency	16.72%	16.97%	17.23%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C		
Max. System Voltage	1000 V (IEC/UL) or 1500 V (IEC/UL)		
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC 61730)		
Max. Series Fuse Rating	15 A		
Application Classification	Class A		
Power Tolerance	0 ~ + 5 W		

* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

ELECTRICAL DATA | NMOT*

CS6U	325P	330P	335P
Nominal Max. Power (Pmax)	239 W	243 W	247 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	34.0 V	34.2 V	34.4 V
Opt. Operating Current (Imp)	7.03 A	7.10 A	7.17 A
Open Circuit Voltage (Voc)	42.4 V	42.5 V	42.6 V
Short Circuit Current (Isc)	7.54 A	7.63 A	7.70 A

* Under Nominal Module Operating Temperature (NMOT), irradiance of 800 W/m², spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

PERFORMANCE AT LOW IRRADIANCE

Outstanding performance at low irradiance, with an average relative efficiency of 96.0 % for irradiances between 200 W/m² and 1000 W/m² (AM 1.5, 25°C).

* The specifications and key features contained in this datasheet may deviate slightly from our actual products due to the on-going innovation and product enhancement. Canadian Solar Inc. reserves the right to make necessary adjustment to the information described herein at any time without further notice.

MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Poly-crystalline, 6 inch
Cell Arrangement	72 (6 × 12)
Dimensions	1960 × 992 × 35 mm (77.2 × 39.1 × 1.38 in)
Weight	22.4 kg (49.4 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame Material	Anodized aluminium alloy
J-Box	IP68, 3 bypass diodes
Cable	4.0 mm ² (IEC), 12 AWG (UL), 1160 mm (45.7 in)
Connector	T4 series
Per Pallet	30 pieces
Per Container (40' HQ)	720 pieces

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.40 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.31 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.05 % / °C
Nominal Module Operating Temperature (NMOT)	43 ± 3 °C

PARTNER SECTION



CANADIAN SOLAR INC.

545 Speedvale Avenue West, Guelph, Ontario N1K 1E6, Canada, www.canadiansolar.com, support@canadiansolar.com

ANEXO B – DATASHEET DO INVERSOR



SolarEdge Single Phase Inverters

SE2200 - SE6000



INVERTERS

Specifically designed to work with power optimizers

- Superior efficiency (97.6%)
- Small, lightweight and easy to install
- Built-in module-level monitoring
- Internet connection through Ethernet or Wireless
- IP65 – Outdoor and indoor installation
- Fixed voltage inverter, DC/AC conversion only



Single Phase Inverters

SE2200 - SE6000

	SE2200	SE3000	SE3500	SE4000	SE5000	SE6000	
OUTPUT							
Rated AC Power Output	2200	3000	3500	4000	5000	6000	VA
Maximum AC Power Output	2200	3000	3500	4000	5000	6000	VA
AC Output Voltage (Nominal)	220 / 230						Vac
AC Output Voltage Range	184 - 264.5						Vac
AC Frequency (Nominal)	50 / 60 ± 5						Hz
Maximum Continuous Output Current	12	16.5*	19.5*	22*	27	27	A
Residual Current Detector / Residual Current Step Detector	300 / 30						mA
Utility Monitoring, Islanding Protection, Country Configurable Thresholds	Yes						
INPUT							
Recommended Maximum DC Power** (Module STC)	3000	3750	4350	5000	6250	7500	W
Transformer-less, Ungrounded	Yes						
Maximum Input Voltage	500						Vdc
Nominal DC Input Voltage	350						Vdc
Maximum Input Current	8.5	11.5	13.5	15.5	19.5	23	Adc
Reverse-Polarity Protection	Yes						
Ground-Fault Isolation Detection	600kΩ Sensitivity						
Maximum Inverter Efficiency	97.6						%
European Weighted Efficiency	97.6	97.6	97.5	97.5	97.4	97.4	%
Nighttime Power Consumption	< 2.5						W
ADDITIONAL FEATURES							
Supported Communication Interfaces	RS485, RS232, Ethernet, Zigbee (optional)						
STANDARD COMPLIANCE							
Safety	IEC-62103 (EN50178), IEC-62109						
Grid Connection Standards	VDE 0126-1-1, VDE-AR-N-4105, AS-4777, RD-1663, DK 5940						
Emissions	IEC61000-6-2, IEC61000-6-3, IEC61000-3-11, IEC61000-3-12, FCC part15 class B						
RoHS	Yes						
INSTALLATION SPECIFICATIONS							
AC Output	Cable Gland - diameter 9-16						mm
DC Input	1 MC4 pair			2 MC4 pairs			
Dimensions (HxWxD)	540 x 315 x 172			540 x 315 x 191			mm
Weight	20.2			21.7			kg
Cooling	Natural Convection						
Noise	< 50						dBA
Operating Temperature Range	-20 - +50 (M40 version -40 - +50)						°C
Protection Rating	IP65 - Outdoor and Indoor						
Bracket Mounted (Bracket Provided)							

* For inverters with an AC current limit of 16A please refer to the "SE3000-4000-16A Inverter" datasheet.

** Limited to 125% for locations where the yearly average high temperature is above 25 °C and to 135% for locations where it is below 25 °C. For detailed information, refer to http://www.solaredge.us/files/pdfs/inverter_dc_oversizing_guide.pdf

